



TUGAS AKHIR - MO141326

**DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR MODEL  
*SEASTATION OFFSHORE AQUACULTURE* UNTUK  
PERAIRAN LAUT LEPAS DI INDONESIA**

Vilda Ariviana

NRP. 4313 100 022

**Dosen Pembimbing**

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknolgi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



FINAL PROJECT - MO141326

# DESIGN AND STRUCTURAL STRENGTH ANALYSIS OF SEASTATION OFFSHORE AQUACULTURE CAGE FOR INDONESIAN OPENSEA

Vilda Ariviana

NRP. 4313 100 022

## Supervisors

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2017

**DESAIN DAN ANALISA KEKUATAN STRUKTUR MODEL *SEASTATION*  
OFFSHORE AQUACULTURE UNTUK PERAIRAN LAUT LEPAS  
DI INDONESIA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**VILDA ARIVIANA**

NRP. 4313 100 022

Disetujui oleh:

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

(Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi S.T., M.Sc.

(Pembimbing 2)

3. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

(Penguji 1)

4. Ir. Imam Rochani, M.Sc.

(Penguji 2)

SURABAYA, JULI 2017

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR MODEL *SEASTATION*  
OFFSHORE AQUACULTURE UNTUK PERAIRAN LAUT LEPAS  
DI INDONESIA**

**Nama Mahasiswa** : Vilda Ariviana  
**NRP** : 4313 100 022  
**Departemen** : Teknik Kelautan – FTK ITS  
**Dosen Pembimbing** : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.  
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

**ABSTRAK**

Dalam tugas akhir ini penulis mendesain dan menganalisis kekuatan struktur model *SeaStation Aquaculture* untuk budidaya ikan *Yellowfin Tuna*. Desain dan analisis ini dilakukan untuk mendapatkan dimensi yang tepat dengan mempertimbangkan tegangan maksimal yang bekerja pada struktur dan umur kelelahan struktur. Penelitian dimulai dengan menentukan ukuran struktur yang akan dibuat dengan mempertimbangkan banyaknya ikan yang akan dibudidaya nantinya. Selanjutnya melakukan analisis pergerakan struktur *SeaStation* akibat beban lingkungan dalam keadaan *free floating* dan tertambat untuk mendapatkan besar *tension mooring line*. Setelah itu dilakukan analisis global dengan memasukkan beban *tension* yang mengenai struktur dari tali tambat untuk mendapatkan besar tegangan yang diterima struktur. Setelah itu dilakukan perhitungan *stress range* dan menghitung *Cumulative Damage* menggunakan metode deterministik dan S-N Curve. Dari hasil permodelan numerik yang dilakukan, didapatkan bahwa perilaku gerak terbesar pada *SeaStation* yaitu sebesar 2,15 m/m untuk gerakan *surge* saat kondisi operasi dan 5,81 deg/m untuk gerakan *roll* kondisi operasi. Untuk hasil *tension* terbesar pada *mooring line* yaitu 979,31 kN pada *heading* 45° dengan *safety factor* 2,28. Setelah itu didapatkan tegangan maksimum pada struktur *SeaStation* sebesar 211.05 MPa. Berdasarkan tegangan maksimum tersebut umur kelelahan struktur *SeaStation* yaitu 28 tahun selama umur operasi.

**Kata Kunci** – *Aquaculture, Cage Design, Deterministic Approach, Maximum Principal Stress, Stress Range, SeaStation, Von-Mises Stress.*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**DESIGN AND STRUCTURAL STRENGTH ANALYSIS OF SEASTATION  
OFFSHORE AQUACULTURE CAGE  
FOR INDONESIAN OPENSEA**

**Name of Student** : Vilda Ariviana  
**REG** : 4313 100 022  
**Department** : Department of Ocean Engineering,  
Marine Technology Faculty, ITS  
**Supervisors** : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.  
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

**ABSTRACT**

In this final project, the authors designed and analyzed structural strength of SeaStation Aquaculture Cage for Yellowfin Tuna. Design and analysis is performed to obtain the right dimensions by considering the maximum stress on the structure and fatigue life of the structure. This research begins by determining the size of the structure to be made by considering the number of fish to be cultivated. Next steps is motion analysis of the SeaStation structure due to the environmental load in free floating and moored condition to obtain a large tension mooring line. As well as the maximum tension of mooring line based on the environmental load, the global structure analysis of SeaStation structure was performed. The results have to comply with the requirement of ABS rules. Fatigue analysis by deterministic approach was applied using to S-N Curve method. Based on numerical modeling, it is known that the maximum motion on SeaStation is 2.15 m/mfor surge at operation conditions and 5.81 deg/m for pitch at operation conditions. Based on the simulation carried out to obtain the maximum tension on the mooring line is 979.31 kN at heading 45° with safety factor 2.28. The maximum stress obtained on the structure of the SeaStation of 211.05MPa. Based on the maximum stress, the fatigue life of the SeaStation structure is 28 years during operation time.

**Keywords** – *Aquaculture, Cage Design, Deterministic Approach, Maximum Principal Stress, Stress Range, SeaStation, Von-Mises Stress.*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis sampaikan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, dan karunia Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini berjudul “**Desain dan Analisis Kekuatan Struktur Model *Seastation Aquaculture* Untuk Perairan Laut Lepas di Indonesia**”. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang desain dan Analisis kekuatan struktur model *SeaStation aquaculture* sehingga dapat dijadikan dasar perencanaan desain dan Analisis umur kelelahan struktur yang dapat diterapkan di perairan laut lepas di Indonesia.

Saya menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata saya berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 2017

Penulis

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak baik secara moral maupun material dan secara langsung maupun tidak langsung. Sehingga pada kesempatan ini, saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan limpahan rezeki, petunjuk dan kemudahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
2. Ibunda Hinayah, Ayahanda Suharto dan seluruh keluarga besar penulis atas segala dukungan moral maupun material serta doa yang tidak pernah putus.
3. Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang selalu dengan sabar membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc. selaku dosen wali yang selalu dengan sabar memberikan nasihat dan arahan dari awal hingga akhir perkuliahan.
5. Bapak-bapak dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Teman seperjuangan Tugas Akhir, Angga, Hafidz, dan Khakim untuk pembelajaran, kerjasama, dan semangatnya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Mbak Yani Nurita dan Mas Rino yang selalu menyempatkan waktunya untuk memberikan ilmu, arahan dan nasihat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Bima Ero dan teman-teman FANS UDA untuk doa, semangat dan nasihat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Semua teman-teman VALTAMERI yang selalu memberikan dukungan demi terselesaikannya Tugas Akhir ini. Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Terima kasih atas bantuan, motivasi dan doanya sehingga saya mampu maju hingga sejauh ini dan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Aamiin.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xix

<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Jenis-jenis <i>Offshore Cage</i> .....	6
2.2.2 <i>Ocean Spar SeaStation</i> .....	9
2.2.3 Jaring ( <i>net</i> ).....	10
2.2.4 Hukum Archimedes .....	11
2.2.5 Gerakan pada Bangunan Apung .....	12
2.2.6 Gerakan <i>Couple Six Degree of Freedom</i> .....	15
2.2.7 Perilaku Struktur <i>Aquaculture</i> pada Gelombang Reguler.....	15
2.2.8 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak .....	19
2.2.9 Konsep Pembebanan .....	21

2.2.10	Beban Arus .....	22
2.2.11	Beban Gelombang.....	24
2.2.12	Sistem Mooring.....	25
2.2.13	Tegangan Tali Tambat .....	27
2.2.14	<i>Boundary Condition and Meshing</i> .....	28
2.2.15	Tegangan Aksial .....	29
2.2.16	<i>Bending Stress</i> .....	30
2.2.17	Tegangan Geser .....	30
2.2.18	Tegangan Von Mises.....	31
2.2.19	Metode Perhitungan Umur Kelelahan.....	33
2.2.20	Kurva S-N.....	34
2.2.21	Penaksiran Umur Kelelahan Sederhana .....	35
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>37</b>
3.1	Skema Diagram Alir .....	37
3.2	Prosedur Penelitian.....	39
3.2.1	Mulai .....	39
3.2.2	Studi Literatur .....	39
3.2.3	Pengumpulan Data dan Analisis Data.....	39
3.2.4	Perencanaan Konsep Desain dan Sistem Pendukung <i>SeaStation Aquaculture</i> .....	39
3.2.5	Perhitungan Beban yang Bekerja pada Struktur dan Beban Lingkungan.....	39
3.2.6	Pemodelan Numerik Struktur serta Analisis RAO .....	40
3.2.7	Analisis Kekuatan Struktur terhadap Beban Operasi dan Lingkungan.....	40
3.2.8	Analisis Umur Kelelahan ( <i>Fatigue Life Analysis</i> ) Struktur .....	40
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>41</b>
4.1	Ikan yang dibudidayakan.....	41
4.2	Konfigurasi Desain.....	42
4.2.1	Perhitungan Berat yang Bekerja pada Struktur .....	46

4.2.2	Perhitungan <i>Draft</i> Struktur .....	46
4.3	Analisis Pemodelan Numerik Komputer .....	48
4.3.1	Model .....	48
4.3.2	<i>Meshing</i> .....	49
4.4	Analisis Respon Gerak Struktur .....	49
4.4.1	Data Lingkungan .....	49
4.4.2	RAO <i>Free Floating</i> .....	49
4.5	Pemodelan <i>Mooring System</i> .....	54
4.5.1	<i>Mooring Line</i> .....	55
4.5.2	<i>Buoy</i> .....	56
4.5.3	RAO Tertambat pada <i>SeaStation Aquaculture</i> .....	57
4.5.4	Analisis Spektrum Gelombang .....	61
4.5.5	Analisis Spektrum Respon Struktur .....	62
4.6	Analisis <i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> .....	66
4.7	Pemodelan <i>Solid Body</i> pada Struktur <i>SeaStation</i> .....	67
4.7.1	Pembebanan pada Struktur <i>SeaStation</i> .....	68
4.7.2	<i>Meshing</i> .....	70
4.8	Analisis Tegangan Global Struktur <i>SeaStation</i> .....	73
4.9	Analisis Umur Kelelahan pada struktur <i>SeaStation</i> .....	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>77</b>
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran.....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>79</b>

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> <i>Offshore Mariculture</i> di GoM .....	2
<b>Gambar 2.1</b> Contoh <i>Floating Cage</i> .....	6
<b>Gambar 2.2</b> <i>Floating flexible cages</i> di Oman .....	7
<b>Gambar 2.3</b> <i>Ocean Farming Norwegia</i> .....	8
<b>Gambar 2.4</b> <i>Ocean Spar SeaStation</i> .....	9
<b>Gambar 2.5</b> <i>Mooring System of SeaStation Aquaculture</i> .....	10
<b>Gambar 2.6</b> <i>Design of submersible SS620</i> .....	11
<b>Gambar 2.7</b> Penyelam membersihkan jaring .....	11
<b>Gambar 2.8</b> Konfigurasi Sistem Tambat Tipe <i>Catenary</i> .....	24
<b>Gambar 2.9</b> Konfigurasi Sistem Tambat Tipe <i>Taut Leg</i> .....	25
<b>Gambar 2.10</b> Langkah analisis tegangan sebuah benda .....	27
<b>Gambar 2.11</b> Tegangan lentur ( <i>bending</i> ) pada suatu penampang .....	28
<b>Gambar 2.12</b> Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang .....	29
<b>Gambar 2.13</b> <i>Von Mises Stress</i> suatu penampang .....	31
<b>Gambar 2.15</b> Grafik Kurva S-N (DnV RP C203, 2008) .....	33
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	35
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan) .....	36
<b>Gambar 4.1</b> Dimensi Ikan Yellowfind Tuna .....	39
<b>Gambar 4.2</b> Sketsa <i>SeaStation</i> Tampak Samping .....	40
<b>Gambar 4.3</b> Sketsa <i>SeaStation</i> Tampak Atas .....	40
<b>Gambar 4.4</b> <i>SeaStation Aquaculture</i> .....	41
<b>Gambar 4.5</b> <i>Meshing</i> jaring .....	43
<b>Gambar 4.6</b> Struktur <i>SeaStation</i> tanpa <i>Ballast</i> .....	45
<b>Gambar 4.7</b> Struktur <i>SeaStation</i> kondisi Operasi .....	45
<b>Gambar 4.8</b> Pemodelan Jaring pada ANSYS AQWA .....	46
<b>Gambar 4.9</b> Arah Pembebanan Gelombang pada Struktur .....	48
<b>Gambar 4.10</b> Grafik RAO Translasi kondisi <i>free floating</i> pada <i>heading</i> 0° .....	49
<b>Gambar 4.11</b> Grafik RAO Rotasi kondisi <i>free floating</i> pada <i>heading</i> 0° .....	49
<b>Gambar 4.12</b> Grafik RAO Translasi kondisi <i>free floating</i> pada <i>heading</i> 45° .....	50
<b>Gambar 4.13</b> Grafik RAO Rotasi kondisi <i>free floating</i> pada <i>heading</i> 45° .....	50
<b>Gambar 4.14</b> Grafik RAO Translasi kondisi <i>free floating</i> pada <i>heading</i> 90° .....	51
<b>Gambar 4.15</b> Grafik RAO Rotasi kondisi <i>free floating</i> pada <i>heading</i> 90° .....	51
<b>Gambar 4.16</b> Pemodelan <i>Mooring</i> Struktur <i>SeaStation</i> Tampak Atas .....	52

<b>Gambar 4.17</b> Pemodelan Mooring Struktur <i>SeaStation</i> Tampak Isometris.....	52
<b>Gambar 4.18</b> Arah Pembenan Gelombang dan Arus.....	53
<b>Gambar 4.19</b> Pilihan <i>Wire Rope</i> tipe Endurance Diamond Blue Grade.....	54
<b>Gambar 4.20</b> Tipe <i>Buoy</i> untuk <i>Mooring Aquaculture</i> .....	54
<b>Gambar 4.21</b> Grafik RAO Translasi Tertambat <i>SeaStation</i> pada <i>heading</i> 0° .....	55
<b>Gambar 4.22</b> Grafik RAO Rotasi Tertambat <i>SeaStation</i> pada <i>heading</i> 0° .....	56
<b>Gambar 4.23</b> Grafik RAO Translasi Tertambat <i>SeaStation</i> pada <i>heading</i> 45° .....	56
<b>Gambar 4.24</b> Grafik RAO Rotasi Tertambat <i>SeaStation</i> pada <i>heading</i> 45° .....	57
<b>Gambar 4.25</b> Grafik RAO Translasi Tertambat <i>SeaStation</i> pada <i>heading</i> 90° .....	57
<b>Gambar 4.26</b> Grafik RAO Rotasi Tertambat <i>SeaStation</i> pada <i>heading</i> 90° .....	58
<b>Gambar 4.27</b> Grafik Spektrum Gelombang JONSWAP .....	59
<b>Gambar 4.28</b> Grafik Respon Gerakan Translasi <i>Heading</i> 0° Kondisi Tertambat .....	60
<b>Gambar 4.29</b> Grafik Respon Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 0° Kondisi Tertambat.....	60
<b>Gambar 4.30</b> Grafik Respon Gerakan Translasi <i>Heading</i> 45° Kondisi Tertambat .....	61
<b>Gambar 4.31</b> Grafik Respon Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 45° Kondisi Tertambat .....	61
<b>Gambar 4.32</b> Grafik Respon Gerakan Translasi <i>Heading</i> 90° Kondisi Tertambat .....	62
<b>Gambar 4.33</b> Grafik Respon Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 90° Kondisi Tertambat .....	62
<b>Gambar 4.34</b> Pemodelan Struktur <i>SeaStation</i> menggunakan software Solidworks .....	66
<b>Gamber 4.35</b> Pembebanan pada Struktur <i>SeaStation</i> .....	67
<b>Gambar 4.36</b> Sensitivitas <i>meshing</i> model struktur <i>SeaStation</i> .....	69
<b>Gambar 4.37</b> Model Elemen <i>Meshing</i> Struktur <i>SeaStation</i> .....	70
<b>Gambar 4.38</b> Elemen <i>Meshing</i> Struktur <i>SeaStation</i> .....	70
<b>Gambar 4.41</b> Hasil Von Mises Stress pada <i>heading</i> 45° .....	72
<b>Gambar 4.42</b> Detail Hasil Von Mises Stress pada <i>heading</i> 90° .....	72

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Tabel Dimensi Ikan .....	39
<b>Tabel 4.2</b> Berat yang Bekerja pada Struktur .....	43
<b>Tabel 4.3</b> Perhitungan <i>Draft</i> Stuktur .....	43
<b>Tabel 4.4</b> Pemodelan Jaring Berdasarkan Kesamaan Berat dan Ukuran.....	46
<b>Tabel 4.5</b> <i>Detail Meshing</i> Menggunakan <i>Software</i> ANSYS Workbench.....	47
<b>Tabel 4.6</b> Data Lingkungan (DNV OS-E301).....	47
<b>Tabel 4.7</b> Nilai RAO Struktur Tertinggi kondisi tertambat .....	58
<b>Tabel 4.8</b> Nilai Respon Struktur Tertinggi kondisi tertambat.....	63
<b>Tabel 4.9</b> Analisis <i>tension</i> maksimum pada <i>mooring line</i> saat tertambat .....	65
<b>Tabel 4.10</b> Pembebanan Struktur pada <i>Heading</i> 0° .....	66
<b>Tabel 4.11</b> Pembebanan Struktur pada <i>Heading</i> 45° .....	67
<b>Tabel 4.12</b> Pembebanan Struktur pada <i>Heading</i> 90° .....	67
<b>Tabel 4.13</b> Tabulasi hasil <i>Maximum Principal Stress</i> .....	68
<b>Tabel 4.14</b> Detail Elemen <i>Meshing</i> Struktur <i>SeaStation</i> .....	70
<b>Tabel 4.15</b> Hasil Analisis global Struktur <i>SeaStation</i> .....	71
<b>Tabel 4.16</b> Data Gelombang 1 Tahunan .....	73
<b>Tabel 4.18</b> Perhitungan kelelahan pada Struktur <i>SeaStation</i> .....	74

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia dengan panjang pantai mencapai 95.181 km (World Resources Institute, 1998) dengan luas wilayah laut 5,4 juta km<sup>2</sup>, adalah negara kepulauan terbesar di dunia karena memiliki luas laut dan jumlah pulau yang besar. Total luas teritorial Indonesia mendominasi sebesar 7,1 juta km<sup>2</sup>. Potensi tersebut menempatkan Indonesia sebagai negara yang dikaruniai sumber daya kelautan yang besar termasuk kekayaan keanekaragaman hayati dan non hayati.

Potensi total nilai ekonomi pada sektor kelautan Indonesia diperkirakan sebesar 1,3 triliun dolar AS per tahun. Beberapa sektor itu antara lain perikanan tangkap, perikanan budidaya, industri pengolahan hasil perikanan, dan *seafood*, industri bioteknologi kelautan serta energi dan sumber daya mineral. Namun, pengakapan ikan laut di Indonesia sudah tergolong berlebihan karena dari 6,5 juta ton populasi ikan di Indonesia, 5,8 juta tonnya sudah ditangkap (Sutardjo, 2014). Hal tersebut menyebabkan adanya ketidakseimbangan antara jumlah penangkapan dan waktu reproduksinya ikan-ikan, sehingga semakin lama populasi ikan akan menurun.

Salah satu cara yang sangat potensial untuk menjadi “penyelamat” bagi populasi ikan adalah budidaya ikan. Selama ini metode budidaya ikan di Indonesia adalah dengan cara tambak yang biasanya dilakukan di daerah pesisir, namun metode ini hanya dapat digunakan untuk jenis-jenis ikan tertentu. Selain dengan tambak, metode lain budidaya ikan adalah dengan budidaya *aquaculture*. *Aquaculture* adalah pembudidayaan organisme perairan seperti ikan, krustasea, moluska, dan tanaman air. *Aquaculture* termasuk budidaya air tawar dan air asin dalam kondisi populasi yang terkendali. Lokasi *aquaculture* biasanya di daerah pantai hingga laut dangkal. Namun dalam beberapa tahun ini, keramba di daerah pesisir dianggap semakin menimbulkan pencemaran yang merugikan bagi lingkungan tepi pantai. Pencemaran ini disebabkan kotoran, bekas makanan serta bangkai ikan yang mati dalam keramba *aquaculture*. Dengan mengetahui kondisi tersebut, dibutuhkan suatu solusi dari keadaan yang ada untuk meningkatkan produktivitas perikanan tanpa merusak lingkungan di sekitar pesisir dan pantai.

Cabang khusus dari *aquaculture* yang melibatkan budidaya organisme laut di laut disebut *mariculture*. *Mariculture* mengacu pada *aquaculture* yang dipraktekkan di lingkungan laut dan habitat bawah air laut. Pengembangan *aquaculture* dengan memanfaatkan potensi lautan baru-baru ini sedang gencar dikembangkan. Salah satu riset yang sedang dikembangkan adalah *deep sea aquaculture* (pengembangbiakan ikan di lautan lepas) atau bisa disebut *offshore mariculture*. *Offshore mariculture* ini berlokasi di laut menengah hingga laut dalam sehingga diharapkan tidak lagi merusak daerah pesisir. Di negara-negara maju seperti Jepang, Norwegia, dan Amerika telah mengalami perkembangan yang pesat. Pada Gambar 1.1 merupakan salah satu contoh offshore aquaculture yang telah terinstal di Gulf of Mexico.



**Gambar 1.1** *Offshore Mariculture* di GoM

(sumber: seafoodsource, 2016)

Namun, beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses desain dari *Offshore mariculture* antara lain pertimbangan struktur yang lebih kompleks dibandingkan struktur *aquaculture* di laut dangkal, karena beroperasi di laut dalam tentu saja harus mempertimbangkan gelombang ekstrim yang mungkin terjadi. Selain itu, pertimbangan jenis ikan yang akan dibudidaya harus sesuai dengan habitat di perairan laut dalam.

Dalam Tugas Akhir ini, permodelan struktur akuakultur akan di aplikasikan diperairan dalam Indonesia. Diperlukan desain yang tepat dan terintegrasi yang baik dalam pembuatan akuakultur lepas pantai. Perhitungan yang digunakan dalam mendesain akuakultur lepas pantai adalah ukuran struktur yang digunakan sehingga dimensi dan kekuatan struktur dapat diketahui dan juga memperhitungkan gaya-gaya yang berkerja pada struktur tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah yang menjadi pokok bahasan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana konsep desain dan konfigurasi struktur model *SeaStation Aquaculture* untuk laut lepas di Indonesia?
2. Bagaimana kekuatan struktur pada model *SeaStation Aquaculture*?
3. Berapakah umur kelelahan struktur pada model *SeaStation Aquaculture*?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui konsep desain dan konfigurasi struktur model *SeaStation Aquaculture* untuk laut lepas di Indonesia.
2. Mengetahui kekuatan struktur pada model *SeaStation Aquaculture*.
3. Mengetahui umur kelelahan struktur pada model *SeaStation Aquaculture*.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini adalah hasil dan pemodelan struktur *SeaStation Aquaculture* dapat digunakan untuk pertimbangan mendesain *aquaculture* untuk mengembangkan teknologi *aquaculture* yang dapat beroperasi di laut lepas Indonesia sehingga dapat meningkatkan hasil perikanan tanpa merusak ekosistem pantai dan menjaga populasi ikan di Indonesia.

## 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Penentuan lokasi *aquaculture* disesuaikan dengan lingkungan laut lepas di Indonesia yaitu Laut Timor.
2. Analisis dilakukan pada kedalaman 48 meter dengan pasang tertinggi 2 meter, sehingga Analisis dilakukan di kedalaman 50 meter.
3. Beban lingkungan yang digunakan dalam pembebanan hanya beban gelombang dan arus.
4. Efek angin diabaikan karena struktur *submerged* dan tidak mencapai ketinggian 10 meter.

5. Analisis gelombang dan arus dilakukan pada arah 0, 45, dan 90 derajat.
6. Analisis struktur dilakukan dalam kondisi operasi.
7. Pemodelan jaring berdasarkan kesamaan berat dan ukuran.
8. Konfigurasi sistem tambat yang digunakan adalah tipe *Rectangular Array*.
9. Jangkar tertancap sempurna dan kuat sehingga tumpuan pada jangkar *fixed*.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri atas 5 bab yaitu sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan beberapa hal tentang penelitian dalam tugas akhir, yaitu masalah yang melatarbelakangi penelitian sehingga penting untuk dilakukan, perumusan masalah yang menjadi problem dan perlu dijawab, tujuan yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat apa yang didapat dari dilakukannya penelitian tugas akhir, batasan dari penelitian tugas akhir ini, serta penjelasan dari sistematika laporan yang digunakan dalam tugas akhir.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Menjelaskan apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini serta dasar-dasar teori, persamaan-persamaan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan urutan analisis yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dan melakukan validasi dalam tugas akhir ini, beserta pembahasan data.

### **BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menjelaskan tentang pemodelan struktur dengan menggunakan *software* yang mendukung serta berisi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini, pengolahan dan serta membahas hasil yang telah didapat.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil Analisis pada tugas akhir ini dan saran-saran penulis sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Budidaya perairan(*Aquaculture*) berasal dari bahasa Inggris *aquaculture* (*aqua* = perairan; *culture* = budidaya) dan diterjemahkan ke dalam Bahasa Indonesia menjadi budidaya perairan. *Aquaculture* merupakan upaya produksi biota atau organisme perairan dengan membuat kondisi lingkungan yang mirip dengan habitat asli organisme yang dibudidayakan (Bardach, dkk., 1972). Pada awalnya budidaya perairan dilakukan di air tawar kemudian mulai berkembang pada budidaya laut (Beveridge, 1996).

Tingkat teknologi budidaya dalam *aquaculture* berbeda-beda. Perbedaan tingkat teknologi ini akan berpengaruh terhadap produksi dan produktivitas yang dihasilkan. Berdasarkan tempat, kegiatan akuakultur dapat dibedakan menjadi akuakultur yang dilakukan di sekitar pesisir hingga laut dangkal, dan marikultur perairan menengah hingga laut dalam (*offshore aquaculture*). Cara ini dikembangkan sebagai akibat banyaknya pencemaran pantai. Selain itu, untuk menyesuaikan habitat ikan yang habitatnya di perairan dalam.

Beberapa negara maju seperti Amerika, Jepang, Norwegia telah mengembangkan teknologi untuk *offshore aquaculture*. Banyak desain keramba telah diajukan dan digunakan dalam kondisi laut terbuka di Amerika Utara. Di Amerika Serikat, sistem cage yang dominan dipakai adalah *Ocean Spar SeaStation*. *SeaStation* merupakan keramba *self-tentioned* yang mengelilingi pelampung spar tunggal (Loverich dan Goudey, 2010). Deskripsi rinci di *Ocean Spar Sea Station* dapat ditemukan di Tsukrov *et al.* (2000) dan Bridger dan Coast-Pierce (2002).

Seiring perkembangan teknologi, desain *SeaStation Aquaculture* telah terbukti kuat, bisa diterapkan, dan ekonomis dan secara komersial yang diproduksi oleh *Ocean Spar*. *SeaStation* dioperasikan di bawah permukaan air dalam keadaan operasi terendam (*submersible*) di laut terbuka Amerika Serikat. *SeaStation* telah terbukti kuat dengan jangka panjang beroperasi di lokasi laut lepas. Beberapa yang telah mengalami langsung dari badai dan

topan (Benetti et al., 2006). Volume *Seastation* secara komersial sampai saat ini memberikan volume internal yang 3000 m<sup>3</sup> (Ostrowski dan Helsley, 2003).

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Jenis-jenis Offshore Cage

Keramba (*cage*) telah banyak berkembang, dari generasi konvensional hingga saat ini telah banyak inovasi desain keramba. Berbagai jenis *offshore cage* telah banyak dikembangkan. Jenis-jenis struktur *offshore cage* berdasarkan sifatnya dibagi ke dalam tiga kategori operasional utama yaitu *floating*, *semi-submersible* dan *submersible*, dengan 2 jenis mekanik yaitu: *flexible* dan *rigid* (Loverich, 1996). Jenis dari masing-masing *offshore cage* di gambarkan pada Gambar 2.1 – Gambar 2.3.

**Tabel 2.1** Jenis-jenis *Offshore cage*

Structure type	Examples
Floating flexible	Dunlop, Bridgestone, Ocean Spar Net Pen, plastic circle types (Corelsa, Aqualine, etc.) Aquasystem
Floating rigid	Pisbarca, Cruive
Semi-submersible flexible	Refa
Semi-submersible rigid	Farmocean, Ocean Spar Sea Station
Submersible rigid	Sadco, Trident, Marine Industries, Sea Trek

#### 2.2.1.1 Floating Cage



**Gambar 2.1** Contoh *Floating Cage*  
(sumber: recirculatingfarms, 2017)

- *Floating flexible cages*

Jenis keramba apung ini merupakan keramba yang sudah dikembangkan di Indonesia. Keramba apung ini berbahan dasar selang karet atau pipa karet yang biasa disebut dengan HDPE (*High Density Polyethylene*). Di luar negeri sistem ini diproduksi oleh Bridgestone dan Dunlop. Sedangkan di Indonesia sudah diproduksi oleh PT. Gani Arta Dwi Tunggal atau yang lebih dikenal AquaTec.



**Gambar 2.2** *Floating flexible cages* di Oman  
(sumber: alibaba.com, 2017)

- *Floating rigid cages*

Desain sangat berbeda dari yang digunakan *floating flexible cages*. Umumnya struktur besar, besar, biasanya dari konstruksi baja, dengan berbagai tingkat ballasting. Selain itu, terdapat berbagai fitur untuk memudahkan pengelolaan ikan, seperti *feeding systems*, *harvest cranes*, *fuel stores* dan *power generation*, *staff quarters*, dll. Beberapa sistem juga yg bergerak otomatis. Akibatnya jenis ini merupakan yang paling mahal dari *offshore cage* lainnya.

### 2.2.1.2 Semi-Submersible



**Gambar 2.3** *Ocean Farming Norwegia*

(sumber: notrade.com, 2017)

Desain *cage* ini memiliki kemampuan untuk tenggelam untuk jangka waktu di yang lebih tinggi dari permukaan air sehingga struktur ringan dan sederhana. Sistem ini dalam dua mode, *surface* dan *sub-surface*, dan perlunya untuk mengontrol secara efektif dan menambah potensi adanya kompleksitas dan risiko. Sama seperti *floating cage*, ada dua kelas struktural dalam desainnya yaitu:

- *Semi-submersible flexible cages*
- *Semi-submersible rigid cages*

Keramba ini dirancang dengan elemen kerangka kaku yang hanya memberikan gerakan terbatas dan perubahan volume sebagai respon terhadap beban eksternal. Biasanya struktur rangka terbuat dari baja, dan terdapat sistem *buoyancy* untuk menaikkan atau menurunkan keramba. Dengan struktur yang lebih kaku memungkinkan untuk menambah fasilitas layanan seperti *feeder* ataupun fasilitas lainnya.

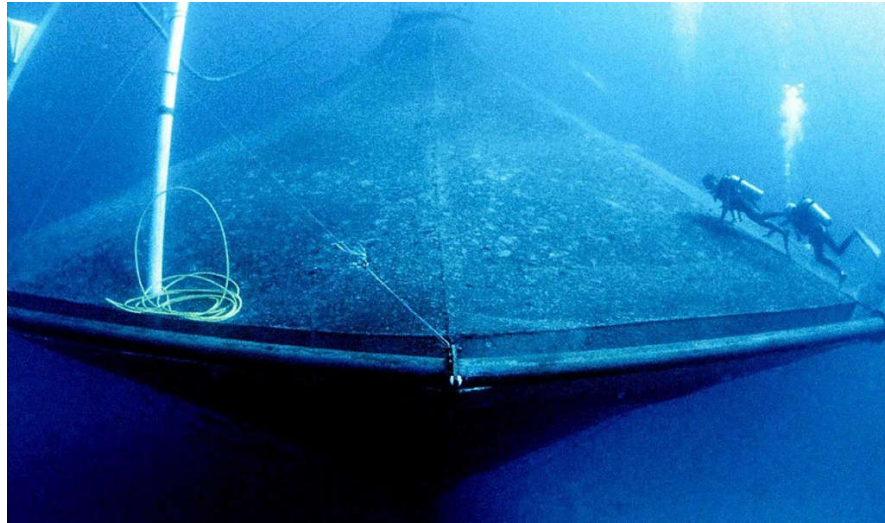
### 2.2.1.3 Submersible rigid cages

Untuk budidaya di perairan lepas pantai, di mana ketinggian gelombang sangat penting untuk dipertimbangkan, desain submersible ini salah satu cara untuk menghindari dampak terburuk

dari kondisi permukaan yang ekstrim. Sistem pada keramba ini bias beroperasi tanpa pengawasan oleh unit permukaan, diakses hanya bila diperlukan. Berbagai desain telah diusulkan termasuk oleh SADCO, Trident dan Marine Industries.

### 2.2.2 Ocean Spar SeaStation

*Seastation* merupakan jenis *semi-submersible rigid* yang berbentuk segi 12 terbuat dari baja galvanis dan jaring.



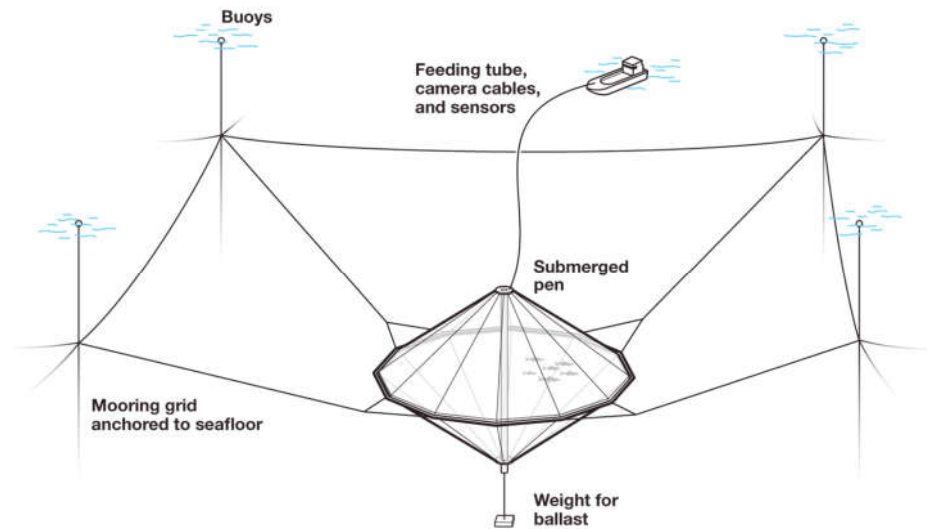
**Gambar 2.4** *Ocean Spar SeaStation*

(sumber: notrade.com, 2017)

*SeaStation* juga telah dikembangkan oleh Ocean Spar Technologies, sebagai hasil dari karya mereka pada sistem *The Net Pen* (Loverich dan Gaudy, 1996). Di dalam cone dobel ini "piring terbang" terdapat sebuah *steel tube vertical spar* di bagian tengahnya. Jaring dan *framing line* menggunakan spesifikasi polimer serat tinggi untuk memaksimalkan kekuatan sekaligus mengurangi dimensi penampang dan *drag system*. *Tubular steel rim* untuk menjaga bentuk jaring dan juga memiliki kemampuan *ballasting*. Kombinasi ini memberikan stabilitas net yang kencang dan sangat baik bahkan dalam cuaca buruk.

Dalam cuaca buruk, *cage* dapat sepenuhnya terendam dengan cara mengendalikan sistem *ballasting* yang terdapat di tengah *cage*. Sebuah platform kecil di atas tiang pusat memungkinkan untuk *feeding*, akses

dan *monitoring*. Sistem harus sepenuhnya tahan air karena untuk mempertahankan sistem saat dalam mode *submersible*.



**Gambar 2.5** *Mooring System of SeaStation Aquaculture*

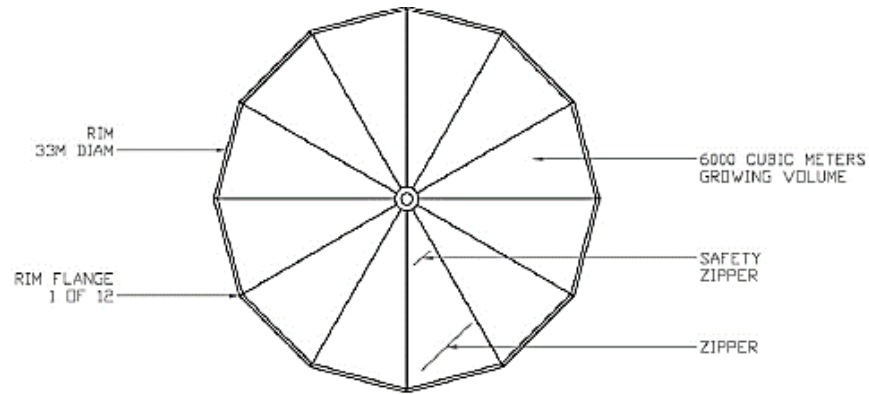
(sumber: [goofishbadfish.com](http://goofishbadfish.com), 2017)

Sistem ini ditambatkan di tiang pusat, sehingga cocok untuk *single point mooring* atau konfigurasi tetap. Karena kekakuan dan stabilitas struktur, penarik sangat mudah. *Harvesting* juga mudah, yaitu dengan cara membalik bagian kerucut bawah jaring. Model produksi standar memiliki volume 3000 m<sup>3</sup>.

### 2.2.3 Jaring (*net*)

Jaring yang digunakan, biasanya terbuat dari bahan *polyethyleneseart* tinggi atau disebut jaring *trawl*. Ukuran mata jaring yang digunakan tergantung dari besarnya ikan yang akan dibudidayakan. Jaring menyelimuti seluruh bagian struktur, pada bagian samping terdapat resleting raksasa untuk melakukan panen dan akses utama memasuki struktur.





**Gambar 2.6** *Design of submersible SS620*

(sumber: Ocean Spar, 2007)

Jaring dibersihkan oleh diver pada saat melakukan inspeksi mooring dan jaring menggunakan *hydraulic net cleaner*.



**Gambar 2.7** Penyelammembersihkan jaring

(sumber: Ocean Spar, 2010)

#### 2.2.4 Hukum Archimedes

*Steel tube vertical spar* yang dibuat nantinya harus mempunyai gaya angkat keatas yang lebih besar dari pada gaya-gaya yang bekerja ke bawah agar struktur bisa terapung. Gaya ke atas yang dialami benda ketika berada di air disebut gaya Archimedes. Adapun besar gaya Archimedes dirumuskan sebagai berikut.

$$F_A = \rho_A \cdot V_A \cdot g \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan:

$F_A$  : gaya keatas yang dialami benda (N)

$\rho_A$  : massa jenis zat cair yang didesak benda (kg/m<sup>3</sup>)

$V_A$  : volume zat cair yang didesak benda (m<sup>3</sup>)

$g$  : percepatan gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)

## 2.2.5 Gerakan pada Bangunan Apung

Struktur terapung yang bergerak di atas permukaan laut mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi tersiri dari 6 macam, yaitu 3 gerakan translasi dan 3 gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu gerakan :

Gerakan translasi :

- Surge, gerakan transversal arah sumbu X
- Sway, gerakan transversal arah sumbu Y
- Heave, gerakan transversal arah sumbu Z

Gerakan rotasional :

- Roll, gerakan rotasi arah sumbu X
- Pitch, gerakan rotasi arah sumbu Z
- Yaw, gerakan rotasi arah sumbu Y

### 2.2.5.1 Surge

*Surge* merupakan gerakan osilasi pada bangunan apung dimana arah gerakan dari gerakan translasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu longitudinal (sumbu x). Secara umum persamaan surge pada bangunan terapung adalah:

$$a\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F_0 \cos \omega_\theta t \dots\dots\dots 2.3$$

Dengan :

$a\ddot{x}$  : *Inertial force*

$b\dot{x}$  : *Damping force*

$cx$  : *Restoring force*

$F_0 \cos \omega_\theta t$  : *Exciting force*



### 2.2.5.2 Sway

*Sway* merupakan gerak translasi pada bangunan terapung dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Persamaan umum bangunan apung pada kondisi swaying adalah:

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = F_0 \cos \omega_\theta t \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan :

$a\ddot{y}$  : *Inertial force*

$b\dot{y}$  : *Damping force*

$cy$  : *Restoring force*

$F_0 \cos \omega_\theta t$  : *Exciting force*

### 2.2.5.3 Heave

*Heave* adalah osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z), dimana heaving adalah salah satu gerakan kapal pada permukaan perairan gelombang regular, dimana gerakan-gerakan tersebut disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada badan kapal yang tidak lain adalah gaya gelombang (Murtedjo, 1990). Secara umum persamaan gerakan heaving suatu bangunan tergantung pada gelombang regular adalah

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_0 \cos \omega_\theta t \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan:

$a\ddot{z}$  : *Inertial force*

$b\dot{z}$  : *Damping force*

$cz$  : *Restoring force*

$F_0 \cos \omega_\theta t$  : *Exciting force*

### 2.2.5.4 Roll

*Rolling* merupakan gerak rotasional dngan sumbu X sebagai pusat geraknya. Gerakan ini akan berpengaruh terhadap initial velocity sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya. Rumus umum dari persmaan gerak akibat *rolling* ialah:

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos \omega_\theta t \dots\dots\dots 2.5$$

Dengan :

$M_0$  : Amplitudo momen eksitasi (m)

$\omega_\theta$  : Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\theta}$  : *Inertial moment*

$b\dot{\theta}$  : *Damping moment*

$c\theta$  : *Restoring moment*

$M_0\cos\omega_\theta t$  : *Exciting moment*

#### 2.2.5.5 Pitch

*Pitching* merupakan gerak rotasional dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Karena gerak *pitching* akan berpengaruh terhadap kestimbangan posisi, maka monen yang terjadi akibat *pitching* perlu diperhitungkan. Rumus umum dari persamaan gerakan akibat *pitching* adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0\cos\omega_\theta t \dots\dots\dots 2.6$$

Dengan :

$M_0$  : Amplitudo momen eksitasi (m)

$\omega_\theta$  : Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\theta}$  : *Inertial moment*

$b\dot{\theta}$  : *Damping moment*

$c\theta$  : *Restoring moment*

$M_0\cos\omega_\theta t$  : *Exciting moment*

#### 2.2.5.6 Yaw

Gerak *yaw* merupakan gerak rotasional pada sumbu Z, sebagai pusat gerak. Sama halnya seperti pada gerak *rolling* dan *pitching*, gerak ini pun akan berpengaruh terhadap kestimbangan struktur, sehingga perlu memperhitungkan momen gaya. Persamaan umum untuk yawing ialah:

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0\cos\omega_\theta t \dots\dots\dots 2.7$$

Dengan :

$M_0$  : Amplitudo momen eksitasi (m)

$\omega_\theta$  : Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\phi}$  : *Inertial moment*  
 $b\dot{\phi}$  : *Damping moment*  
 $c\phi$  : *Restoring moment*  
 $M_0 \cos \omega_\theta t$  : *Exciting moment*

### 2.2.6 Gerakan Couple Six Degree of Freedom

Karena struktur *aquaculture* yang ditinjau terdiri dari enam mode gerakan bebas (*six degree of freedom*). Respon gerakan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan diferensial gerakan kopel sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk} + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t}; j, k = 1, 2, \dots, 6 \dots \dots \quad 2.8$$

Dengan:

$M_{jk}$  : matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut  
 $A_{jk}$  : matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik  
 $B_{jk}$  : matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik  
 $K_{jk}$  : matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrodinamik  
 $F_j$  : matriks gaya eksitasi ( $F_1, F_2, F_3$ ) dan momen eksitasi ( $M_1, M_2, M_3$ ) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh  $e^{i\omega t}$ )  
 $\zeta_k$  : elevasi gerakan pada mode ke k

Persaman di atas menunjukkan hubungan antara gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh variable pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap struktur *aquaculture*. Gaya reaksi ditunjukkan oleh variable kiri pada persamaan, yang terdiri dari gaya inersia, gaya redaman dan gaya pengembali, yaitu masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak dan simpangan atau *displacement* gerakan (Djarmiko, 2012).

### 2.2.7 Perilaku Struktur *Aquaculture* pada Gelombang Reguler

#### 2.2.7.1 Teori Gelombang Reguler

Dalam penyederhanaan perumusan matematis gelombang yang dalam kondisi riilnya sangat kompleks maka ditetapkan asumsi-

asumsi. Perumusan yang paling sederhana dari gelombang laut adalah dalam bentuk osilasi sinusoidal, seperti telah diperkenalkan oleh Airy pada tahun 1845. Teori gelombang Airy merupakan teori gelombang yang paling sering digunakan dalam menghitung beban gelombang (*wave load*) yang terjadi pada struktur. Teori gelombang Airy juga bisa disebut dengan teori gelombang amplitudo kecil, yang menjelaskan bahwa asumsi tinggi gelombang adalah sangat kecil jika dibandingkan terhadap panjang gelombang atau kedalaman laut. Periode gelombang diasumsikan sebagai variabel konstan yang tidak berubah terhadap waktu. Jadi jika di laut diukur periode gelombang adalah 10 detik, maka periodenya akan tetap 10 detik selama gelombang tersebut menjalar. Dengan mengasumsikan kondisi dasar laut adalah rata dan batasan horisontal pada permukaan bernilai tak hingga maka teori gelombang linear atau yang lebih dikenal dengan teori gelombang Airy dapat diterapkan.

#### **2.2.7.2 Response Amplitude Operator (RAO)**

*Response Amplitude Operator* (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur.

RAO memuat informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut yang disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan objek *floating body* pada mode tertentu,

Setelah menjelaskan dengan sekilas tentang teori gerakan bangunan laut, pada akhirnya hasil yang diperlukan oleh perancang adalah informasi tentang karakteristik gerakan itu sendiri. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah berupa parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu, dengan amplitudo

gelombang yang sikenal dengan response amplitude operator (RAO) (Dajtmiko, 2012).

Dajtmiko (2012) menjelaskan bahwa respons gerakan RAO, untuk gerakan translasi, yakni: surge, sway, dan heave adalah merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya disbanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang).

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \dots\dots\dots 2.9$$

Sedangkan respon non-dimensi atau RAO untuk gerakan rotasi, yakni roll, pitch, dan yaw merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni merupakan perkalian antara angka gelombang dengan amplitudo gelombang insiden,  $k_w = \omega^2/g$

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} \dots\dots\dots 2.10$$

Menurut Chakrabarti (1986) Response Amplitude Operator (RAO) merupakan fungsi gerakan dinamis struktur yang disebabkan oleh gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. Persamaan RAO menurut Chakrabarti adalah sebagai berikut:

$$RAO = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots 2.11$$

dengan:

$X_p(\omega)$  = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$  = amplitudo gelombang

### 2.2.7.3 Beban Gelombang Second Order

Pengaruh beban gelombang *second order* akan tampak pada perilaku struktur bangunan apung yang tertambat. Pada gelombang regular, carayang paling sederhana untuk mendefinisikan pengaruh *non linear* adalah dengan melengkapi persamaan Bernoulli (Faltinsen, 1990).

Hasil dari persamaan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga komponen penyusun, yakni beban *mean wave drift*, beban osilasi

variasifrekuensi dan beban osilasi dari penjumlahan frekuensi tersebut yang akanmendeskripsikan spektrum gelombang.

## 2.2.8 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak

### 2.2.8.1 Spektrum Gelombang

Gelombang regular memuat energy, yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya salah ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudo. Mengacu pada hal ini maka energy yang dimuat dalam sebuah gelombang acak merupakan penjumlahan energy yang dikontribusikan oleh semua komponen gelombang regulernya (Djarmiko, 2012).

Penentuan spektrum energi gelombang juga dapat menggunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh institusi dengan memperhatikan kesamaan fisik lingkungan. Parameter-parameter gelombang dapat diketahui dari spectrum gelombang:

**Tabel 2.2** Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum

Profil gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,50\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 gelombang	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 gelombang tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

Dengan:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega) \cdot d(\omega) \dots\dots\dots 2.12$$

$m_0$  = luasan dibawah kurva spektrum (sero moment)

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP dapat ditulis pada persamaan di bawah ini:

$$S_{\zeta}(\omega_e) = \alpha g^2 \omega^{-5} EXP \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma^{EXP \left[ \frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2\tau^2 \omega_0^2} \right]} \quad 2.13$$

dengan :

$$\alpha = 0,0076(X_0)^{-0,22} \text{ , jika } X_0 \text{ tidak diketahui maka } \alpha = 0,0081$$

$$\omega_0 = 2\pi \left( \frac{g}{U_\omega} \right) (X_0)^{-0,33}$$

$$X_0 = \frac{gX}{U_\omega}$$

$\tau$  = Parameter bentuk (*shape parameter*), 0,07 jika  $\omega \leq \omega_0$  dan 0.09 jika  $\omega > \omega_0$

$\gamma$  = Parameter ketinggian (*peakedness parameter*)

Sedang nilai dari parameter ketinggian ( $\gamma$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Torsethaugen pada persamaan di bawah:

$$\gamma = EXP \left[ 3,4843 \left( 1 - 0,1975 \left( 0,036 - 0,0056 \frac{T_P}{\sqrt{H_s}} \right) \frac{T_P^4}{H_s^2} \right) \right] \dots\dots\dots 2.14$$

dengan :

$T_P$  : Periode puncak spektra (detik)

$H_s$  : Tinggi gelombang signifikan (m)

JONSWAP merupakan proyek yang dilakukan pada perairan North Sea. Menurut DNV RP-C205 (2010), formulasi spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari spektrum Pierson-Moskowitz. Spektrum JONSWAP mendeskripsikan angin yang membangkitkan gelombang dengan kondisi sea state yang ekstrim. Kriteria yang ada di DNV RP-C205, bahwa spektrum JONSWAP dapat diaplikasikan untuk perairan dengan:

$$3,6 < \frac{T_P}{\sqrt{H_s}} < 5 \dots\dots\dots 2.15$$

#### 2.2.8.2 Spektrum Respon Struktur Bangunan Apung

Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots 2.16$$

Dimana:

$S_R$  = Spektrum respons (m<sup>2</sup>-sec)



$S(\omega)$  = spektrum gelombang ( $\text{m}^2\text{-sec}$ )  
 $RAO(\omega)$  = transfer function  
 $(\omega)$  = ferkuensi gelombang ( $\text{rad/sec}$ )  
 (Chakrabarti, 1986)

## 2.2.9 Konsep Pembebanan

Menurut Seodjono (1999) dalam mendesain bangunan apung harus memperhatikan dua hal berikut yakni kriteria operasional dan kriteria ekonomi. Kriteria operasional mempertimbangkan keandalan dari struktur bangunan apung tersebut agar tidak mengalami kegagalan operasi. Struktur yang dirancang diharapkan mampu menahan semua beban yang bekerja padanya. Secara garis besar terdapat 3 jenis beban yang bekerja pada struktur bangunan lepas pantai yaitu:

### 2.2.9.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati (*dead load*) adalah beban dari komponen-komponan kering serta beban-beban peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, meliputi: berat struktur, berat peralatan dari permesinan yang tidak digunakan untuk pengeboran atau proses pengeboran.

### 2.2.9.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada bangunan lepas pantai selama beroperasi dan bisa berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain.

### 2.2.9.3 Beban Kecelakaan (*Accidental Load*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi, misalnya tabrakan dengan kapal pemandu operasi, putusnya tali tambat, dll.

### 2.2.9.4 Beban Lingkungan (*Environmetal Load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan adalah:

1. Beban gelombang
2. Beban arus

#### 2.2.10 Beban Arus

Beban arus terjadi karena adanya pasang surut yang memberikan gaya terhadap struktur bangunan lepas pantai. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi nonlinier. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linier.

Arus pada kondisi operasi adalah arus air maksimum yang berhubungan dengan angin dan gelombang pada lokasi dimana struktur ditambat. Kecepatan arus di dasar laut maupun di permukaan laut disertakan dalam proses perhitungan. Apabila profil arus tersebut tidak linear, maka kecepatan pada kedalaman yang berbeda-beda harus diperhitungkan. Gaya hidrodinamika pada mooring line diasumsikan kecil dan gaya tersebut tidak diperhitungkan dalam persamaan gerak (Yilmaz, 1996).

$$F_{1C-stat} = 0.5\rho LTC_{1C}(\psi_{CR})V_{CR}^2 \dots\dots\dots 2.17$$

$$F_{2C-stat} = 0.5\rho LTC_{2C}(\psi_{CR})V_{CR}^2 \dots\dots\dots 2.18$$

$$F_{6C-stat} = 0.5\rho LTC_{6C}(\psi_{CR})V_{CR}^2 \dots\dots\dots 2.19$$

dengan:

$\rho$  : Massa jenis air laut (kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang vessel (m)

$T$  : Tinggi sarat vessel (m)

$C_{1C}$  : Koefisien tahanan arah longitudinal

$C_{2C}$  : Koefisien tahanan arah transversal

$C_{6C}$  : Koefisien tahanan arah yaw

Pada sistem tandem *single point mooring* gerak yang paling berpengaruh adalah *surge* dan *pitch*. Sehingga untuk gaya arus berlakupersamaan:

$$F_{IC} - Stat = 0,5 \rho L T C_{1C}(\psi_{CR}) V_{CR}^2 \dots\dots\dots 2.20$$

$$F_{5C} - Stat = 0,5 \rho L T C_{5C}(\psi_{CR}) V_{CR}^2 \dots\dots\dots 2.21$$

dimana:

$C_{5C}$ : Koefisien tahanan arah pitch

$\psi_{CR}$  : Sudut Relatif (°)

$V_{CR}^2$  : Kecepatan Relatif (m/sec)

Kecepatan relatif pada vessel berhubungan dengan arus

$$V_{CR} = \sqrt{(u_R^2 + v_R^2)} \dots\dots\dots 2.22$$

Sudut relatif pada arus

$$V_{CR} = \arctan(-v_R/u_R) \dots\dots\dots 2.23$$

Nilai koefisien-koefisien tahanan  $C_{1C}$ ,  $C_{2C}$  dan  $C_{6C}$  di atas dapat dicari dalam Oil Companies International Forum (OCIMF).

### 2.2.11 Beban Gelombang

Beban gelombang merupakan beban terbesar dari beban lingkungan. Sehingga menurut Indiyono (2010) perhitungan gaya gelombang pada struktur bangunan lepas pantai merupakan salah satu tahapan utama dalam proses perancangan. Kompleksitas aspek interaksi antara gelombang dengan struktur mengakibatkan perhitungan gaya gelombang lebih sulit dilakukan dibandingkan perhitungan gaya yang lain.

Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur ( $D$ ) dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) sebagai berikut (API, 2000 :

1.  $D/\lambda > 1$  = Gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan Morison tidak valid.
2.  $D/\lambda > 0,2$  = Difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan Morison tidak valid.
3.  $D/\lambda < 0,2$  = Persamaan Morison valid.

Bangunan apung mengalami enam mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu tiga mode gerakan translasional dan tiga mode gerakan *rotasional* (Bhattacharyya, 1978). Gaya gelombang *time series* dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang sebagai *first order* dan *second order*. Berikut adalah persamaan gaya gelombang *first order*:

$$F_{WV}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{Wv}^{(1)}(\omega_i) \cos[\omega_i t + \varepsilon_i] a_i \dots\dots\dots 2.24$$

dengan :

$F_{WV}^{(1)}(t)$  : Gaya gelombang first order tergantung waktu (N)

$F_{Wv}^{(1)}$  : Gaya exciting gelombang first order per unit amplitudo gelombang (N)

$\varepsilon_i$  : Sudut fase komponen gelombang first order (deg)

$a_i$  : Amplitudo komponen gelombang first order (m)

$S_{(\omega)}$  : Fungsi spektra gelombang

*Second order wave force* adalah gelombang dengan periode tinggi yang daerah pembangkitannya tidak didaerah itu (jauh dari lokasi gelombang terjadi) dan berpengaruh dominan pada kekuatan sistem tambat. Berikut adalah persamaan gaya gelombang second order:

$$F_{WV}^{(2)}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j D_{ij} \cos[(\omega_i - \omega_j)t + (\varepsilon_i - \varepsilon_j)] \quad \dots\dots 2.25$$

dengan :

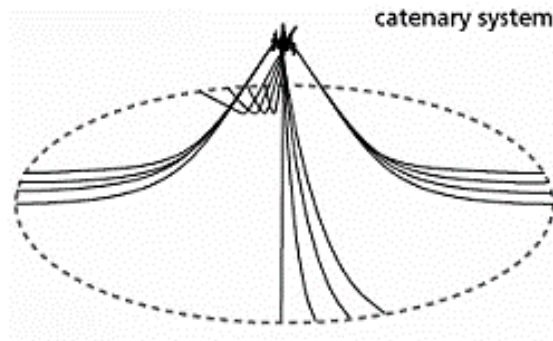
$D_{ij}$  : *Drift force* per unit amplitudo gelombang (N/m)

#### 2.2.12 Sistem Mooring

Menurut API RP 2SK 3rd tahun 2005, terdapat tiga tipe sistem tambat yang dibedakan yaitu *spread mooring*, *single point mooring* dan *dynamic positioning* (DP). *Spread mooring* merupakan sistem tambat yang sangat baik digunakan untuk bangunan apung berbentuk seperti kapal (*ship-shaped vessels*). Hal itu dikarenakan sensitivitas terhadap arah datang lingkungan yang rendah. *Spread mooring* dibedakan menjadi dua tipe yaitu:

a. *Catenary Mooring*

Catenary mooring merupakan mooring yang digunakan pada kondisi perairan dangkal menuju dalam. Pada sistem tambat ini gaya pengembal dilakukan oleh berat dari mooring lines.



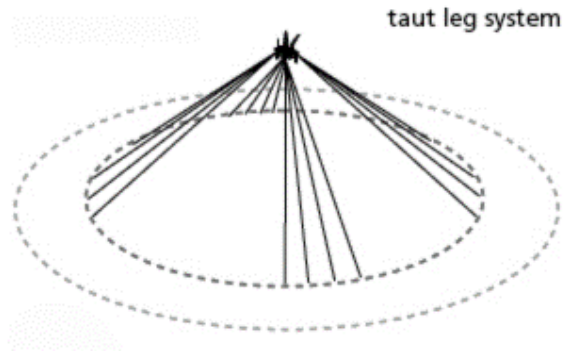
**Gambar 2.8** Konfigurasi Sistem Tambat Tipe Catenary

(sumber: [www.dredgingengineering.com](http://www.dredgingengineering.com))



b. *Taut Leg Mooring*

Taut leg mooring merupakan mooring yang digunakan pada kondisi laut dalam. Sistem mooring ini akan membentuk sudut antara tali tambat dengan dasar laut sehingga dapat menahan gaya horizontal dan vertikal.



**Gambar 2.9** Konfigurasi Sistem Tambat Tipe *Taut Leg*

(sumber: [www.dredgingengineering.com](http://www.dredgingengineering.com))

Pemasangan mooring dilakukan tergantung dengan kebutuhan. Cara pemasangan yang bisa dipilih diantaranya:

- a. Dipasang menggunakan tali (*mooring*) dan *pile* pancang.
- b. Dipasang dengan piling, sehingga nantinya dapat bergerak naik turun tanpa ada gerakan lateral.
- c. Dipasang menggunakan masa konkrit atau jangkar kapal yang ditali.

### 2.2.13 Tegangan Tali Tambat

Gerakan akibat dari beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan (*tension*) pada *mooring*. *Tension* yang terjadi dapat dibedakan menjadi:

1. *Mean Tension*

Mean tension adalah tension pada mooring yang berkaitan dengan mean offset.

2. *Maximum Tension*

*Maximum tension* adalah *mean tension* yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency tension*. Menurut API-RP2SK 3rd edition, *maximum tension* dapat ditentukan dengan prosedur dibawah ini:

1.  $T_{lfmax} > T_{wfmax}$ , maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig}$$

2.  $T_{wfmax} > T_{lfmax}$ , maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig}$$

dengan:

$$T_{mean} = \text{mean tension}$$

$$T_{max} = \text{maximum tension}$$

$$T_{wfmax} = \text{maximum wave frequency tension}$$

$$T_{wfsig} = \text{significant wave frequency tension}$$

$$T_{lfmax} = \text{maximum low-frequency tension}$$

$$T_{lfsig} = \text{significant low-frequency tension}$$

Untuk mengetahui desain sistem tambat aman atau tidak, harus dilakukan pengecekan. Salah satunya pengecekan dapat dilakukan pada nilai *tension* pada masing-masing tali tambat. *Tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat pada *rule*. Pada tugas akhir ini *rule* yang dipakai sebagai acuan adalah ABS. ABS (2004) telah menetapkan *safety factor* untuk *mooring line* harus lebih besar dari 1,67. Persamaan *safety factor* adalah:

$$Safety\ Factor = \frac{(Minimum\ Breaking\ Load)}{(Maximum\ Tension)} \dots\dots\dots 2.26$$

#### 2.2.14 **Boundary Condition and Meshing**

*Boundary condition* atau kondisi batas sangatlah penting dalam proses analisis suatu struktur. *Boundary condition* sendiri dapat terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu *inertial*, *loads*, dan *supports*. *Boundary condition* tipe *inertial* diantaranya yaitu percepatan, *standard earth gravity*, dan kecepatan rotasi. Kemudian *Boundary condition* tipe *loads* diantaranya yaitu tekanan (*pressure*), gaya, momen, dan lain-lain. Sedangkan *boundary condition* tipe *support* diantaranya adalah *fixed*



*supports, displacement*, dan lain-lain. *Boundary condition* sendiri dapat kita aplikasikan sesuai dengan analisis yang akan kita lakukan. Seperti contohnya pada sebuah geometri struktur, *boundary condition* dapat diterapkan pada struktur sebagai *body, face, edge*, maupun titik sesuai dengan kondisi analisis yang ingin kita lakukan. Pembuatan mesh sangat diperhatikan ukuran mesh dan jenis *mesh* yang digunakan, semakin kecil ukuran mesh yang digunakan pada model, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan mesh yang memiliki ukuran yang lebih besar. Oleh karena itu, besar ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh hasil yang teliti.

## 2.2.15 Tegangan Aksial

Tegangan aksial (tegangan normal) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang tegak lurus terhadap penampang dan dapat dihasilkan dari gaya tarik atau gaya tekan, yang di definisikan sebagai:

$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots 2.27$$

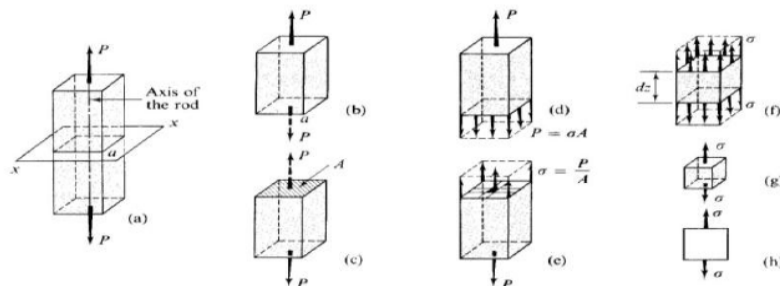
Dengan:

F : Gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap penampang (N)

A : Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\tau$  : Tegangan aksial (Pa)

Pada batang-batang yang menahan gaya aksial saja, tegangan yang bekerja pada potongan yang tegak lurus terhadap sumbu batang adalah tegangan normal saja, tidak terjadi tegangan geser. Ilustrasi tegangan normal dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Langkah analisis tegangan sebuah benda  
(sumber: Popov, 1996)

### 2.2.16 Bending Stress

Momen luar diimbangi oleh momen dalam yang merupakan resultan tegangan lentur (*bending*) yang terlihat pada Gambar 2.13.

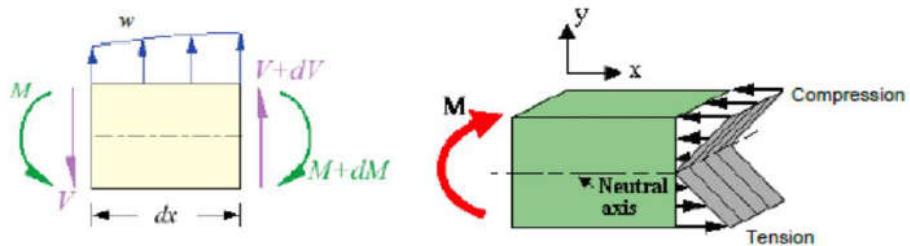
$$M = \int_A f \cdot dA \cdot y = \int_A \left( -\frac{y}{c} f_{max} \right) dA \cdot y = -\frac{f_{max}}{c} \int_A y^2 \cdot dA \dots\dots\dots 2.28$$

$\int_A y^2 \cdot dA = I$  adalah besaran penampang yang disebut momen inersia terhadap titik berat penampang. Jadi persamaan tegangan lentur menjadi:

$$M = -\frac{f_{max}}{c} I \text{ atau } f_{max} = -\frac{M_c}{I} \dots\dots\dots 2.29$$

Tegangan lentur pada sembarang titik yang berjarak  $y$  dari garis netral:

$$f = -\frac{My}{I} \dots\dots\dots 2.30$$



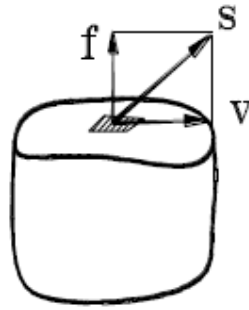
**Gambar 2.11** Tegangan lentur (*bending*) pada suatu penampang  
(sumber: Ronney, 2014)

### 2.2.17 Tegangan Geser

Tegangan geser (*shear stress*) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai:

$$v = \frac{V}{A} \text{ atau } \frac{\text{gaya geser}}{\text{luas}} \left[ \frac{N}{M^2} \right] \dots\dots\dots 2.31$$

Dengan  $V$  adalah gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang dan  $A$  adalah luas penampang. Ilustrasi tegangan geser dapat dilihat pada Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang  
(sumber: Popov, 1996)

### 2.2.18 Tegangan *Von Mises*

Struktur harus mampu menahan beban-beban operasional tambahan yang terjadi dengan aman, yaitu tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan, agar tidak kehilangan stabilitasnya (tidak mengalami *buckling*).

Untuk menghitung tegangan kita memakai persamaan:

$$\sigma(x, y) = \frac{M_x \cdot Y}{I} \dots\dots\dots 2.32$$

Dengan:

$M_x$  : Momen *bending* (ton.m)

$Y$  : Jarak normal bidang (m)

$I$  : Momen inersia bidang (m<sup>2</sup>)

Jadi harus ditentukan  $y$  yang merupakan “titik berat bagian yang dihitung tegangannya” terhadap sumbu netral (garis mendatar yang melalui titik berat penampang) dan menghitung momen inersia penampang  $I_{(x)}$ . pada elemen tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu  $x$ ,  $y$  dan  $z$ . Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan sebagai berikut (Ansys 16.0)

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots 2.33$$

Dengan:

$\sigma_0$  : tegangan utama yang bekerja pada sumbu (Pa)

$\sigma_x$  : tegangan arah sumbu x (Pa)

$\sigma_y$  : tegangan arah sumbu y (Pa)

$\sigma_z$  : tegangan arah sumbu z (Pa)

$\sigma_{xy}$  : tegangan arah sumbu xy (Pa)

$\sigma_{xz}$  : tegangan arah sumbu xz (Pa)

$\sigma_{yz}$  : tegangan arah sumbu yz (Pa)

Penggabungan tegangan-tegangan utama pada suatu element merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *node* tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan *Von Mises*:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)} \quad 2.34$$

Dengan :

$\sigma_{eq}$  : tegangan ekuivalen (*von mises stress*) (Pa)

$\sigma_x$  : tegangan normal sumbu x (Pa)

$\sigma_y$  : tegangan normal sumbu y (Pa)

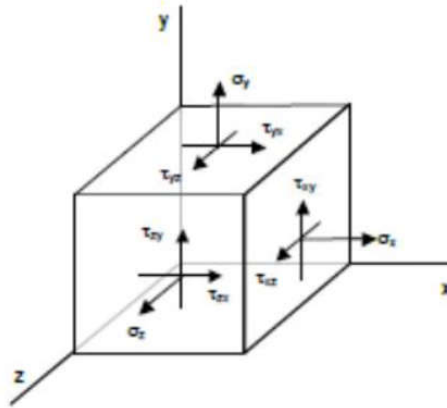
$\sigma_z$  : tegangan normal sumbu z (Pa)

$\tau_{xy}$  : tegangan geser bidang xy (Pa)

$\tau_{xz}$  : tegangan geser bidang xz (Pa)

$\tau_{yz}$  : tegangan geser bidang yz (Pa)

Untuk ilustrasi tegangan *Von Mises* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.13** *Von Mises Stress* suatu penampang  
(sumber: Popov, 1996)

#### 2.2.19 Metode Perhitungan Umur Kelelahan

Secara umum, terdapat 2 (dua) metode yang dapat digunakan untuk analisis kelelahan, yaitu pendekatan kurva S-N (*S-N curve approach*) yang dibuat berdasarkan tes kelelahan, dan pendekatan mekanika kepecahan (*fracture mechanics approaches*). Untuk tujuan desain kelelahan, pendekatan kurva S-N lebih banyak digunakan dan dianggap sebagai metode yang paling cocok. Sedangkan metode mekanika kepecahan digunakan untuk menentukan ukuran cacat yang dapat diterima, menaksir perambatan retak kelelahan, merencanakan inspeksi dan strategi untuk memperbaikinya, dan lain-lain.

Analisis *fatigue* dengan metode S-N curve pada sambungan struktur dilakukan berdasarkan hukum kegagalan Palmgren-Miner (*miner's rule*). Menurut white dan ayyub (1996) *miner's rule* merupakan hipotesis kumulatif kerusakan berdasarkan konsep *strain energy*. Konsep *strain energy* menyatakan bahwa kerusakan terjadi ketika total *strain energy* pada siklus (n) dari variable amplitude pembebanan adalah sama dengan total dari siklus N dari konstan amplitude pembebanan.

Menurut Paik dan Thayambali (2007) Analisis *fatigue* dengan menggunakan pendekatan S-N curve dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

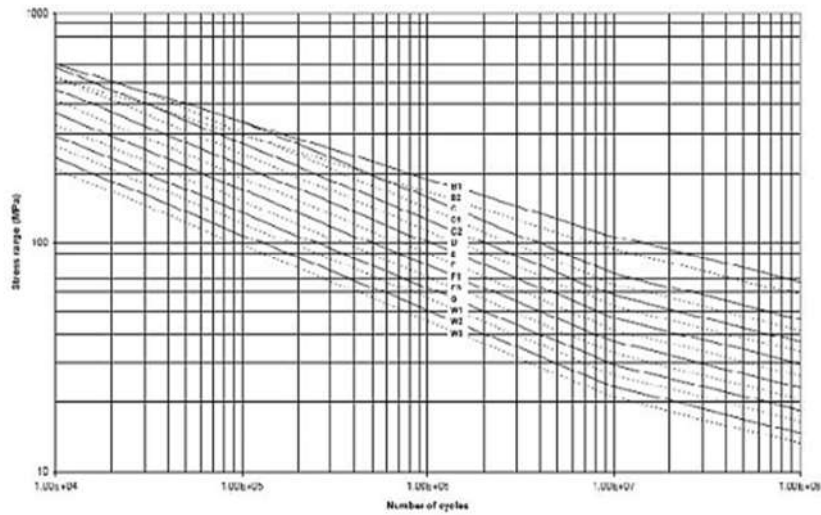
1. Mendefinisikan histogram siklik rentang tegangan

2. Memilih kurva S-N yang sesuai dengan karakteristik material
3. Menghitung kumulatif kerusakan *fatigue* (*cumulative fatigue damage*)

Metode pendekatan S-N curve mempunyai 4 metodologi dalam mengestimasi kumulatif kegagalan fatigue (*cumulative fatigue damage*) yaitu metode *deterministic*, metode *simplified fatigue assessment*, metode *spectral* dan metode *time domain fatigue*. Diantara keempat metode tersebut, metode yang paling banyak digunakan dalam berbagai rules klasifikasi terutama anggota IASC seperti ABS, GL, LR, dan bahkan CSR adalah metode *simplified fatigue* dengan pendekatan empiris parameter distribusi weibull (Bai, 2003). Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk Analisis fatigue adalah menggunakan metode S-N Curve dengan *Simplified Fatigue Analysis*. Untuk analisis kelelahan dengan menggunakan metode *simplified fatigue assessment* akan didapatkan hasil yang lebih akurat, karena adanya faktor parameter bentuk dari distribusi Weibull dalam *simplified fatigue assessment*. Blagojevic (2010) menyebutkan bahwa untuk menghitung umur kelelahan dari struktur akuakultur, dibutuhkan *long-term stress distribution* dari struktur. Penelitian tentang beban gelombang yang mengenai struktur akuakultur menunjukkan bahwa *long-term distribution of stress range* dapat direpresentasikan dengan parameter distribusi Weibull dan disebutkan bahwa pengaruh dari parameter bentuk Weibull ini sangat signifikan. Hasil dari penelitian menyebutkan bahwa dengan perubahan kecil dari parameter bentuk Weibull tersebut berpengaruh besar terhadap nilai *fatigue damage* yang dihasilkan.

#### **2.2.20 Kurva S-N**

Dasar dari kurva S-N atau Wohler curve adalah plot dari stress (S) dan cycle (N). Kurva S-N digunakan dalam karakteristik fatigue pada material yang mengalami pembebanan yang berulang pada magnitude konstan (Ariduru, 2004).



**Gambar 2.15** Grafik Kurva S-N (DnV RP C203, 2008)

Secara umum persamaan dan kurva S-N dapat dilihat sebagai berikut (ABS):

$$NS^m = A \text{ atau } \log(N) = \log(A) - m\log(S) \dots\dots\dots 2.36$$

Dengan:

A = koefisien kekuatan kelelahan (fatigue strength coefficient)

M = kemiringan kurva S-N

S = rentang tegangan

## 2.2.21 Penaksiran Umur Kelelahan Sederhana

Penaksiran pada penelitian ini menggunakan metode *simplified*. Fungsi distribusi cumulative pada stress range dapat diekspresikan pada persamaan:

$$F_s S = 1 - \exp\left[-\left(\frac{S}{\delta}\right)^\gamma\right], S > 0 \dots\dots\dots 2.37$$

dimana:

S = variable acak menunjukkan stress range

$\gamma$  = parameter bentuk Weibull

$\delta$  = parameter skala Weibull

*Cumulative damage* dapat diekspresikan sebagai berikut pada persamaan:

$$D = \frac{N_T \delta^m}{A} \Gamma\left(\frac{m}{\gamma} + 1\right) \dots\dots\dots 2.38$$

Dimana  $N_T$  merupakan *design life* pada *cycles* fungsi gamma  $\Gamma(x)$  didefinisikan sebagai:

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt \dots\dots\dots 2.39$$

Maka, *cumulative damage* dapat diekspresikan pada persamaan

$$DM_i = \sum_{i=1}^k \frac{\alpha_i}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right) \dots\dots\dots 2.40$$

Dimana:

$$\mu_i = 1 - \frac{\left\{ \gamma\left(1 + \frac{m}{\xi} v_i\right) - v_i^{-\frac{\Delta m}{\xi}} \gamma\left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi} v_1\right) \right\}}{\Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)} \dots\dots\dots 2.41$$

$$v_i = \left(\frac{S_q}{S_{Ri}}\right)^\xi \ln N_R \dots\dots\dots 2.42$$

$$N_L = \frac{f_0 U}{4 \log L} \dots\dots\dots 2.43$$

dengan:

$N_L$  = Jumlah siklus untuk rencana umur desain

$K_2$  = konstanta sesuai kurva S-N

$S_{Ri}$  = *stress range*

$S_q$  = *stress range* pada perpotongan 2 segmen pada kurva S-N

$m$  = *slope*

$\Delta m$  = perubahan slope pada segmen atas-bawah pada kurva S-N

$N_R$  = 1000, jumlah siklus

$\xi$  = parameter distribusi tegangan =  $1,4 - 0,2 \cdot \alpha \cdot L^{0.2}$

$\mu_i$  = koefisien tegangan

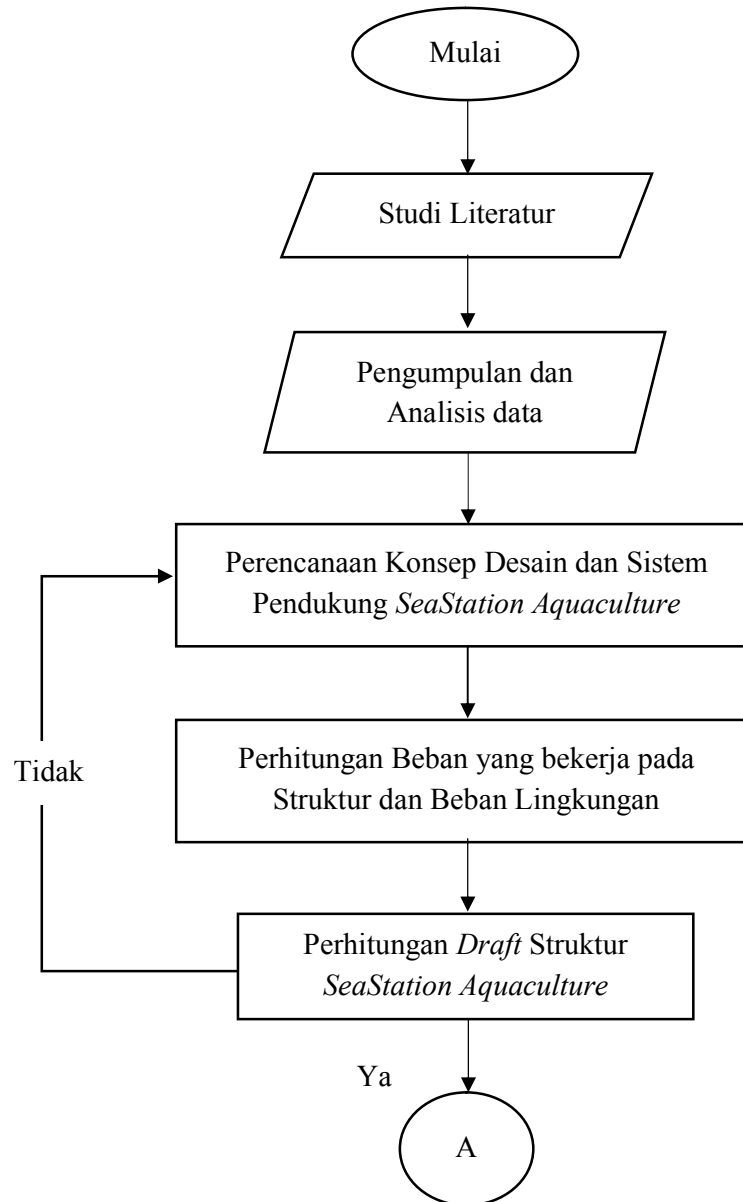
$\Gamma(x)$  = fungsi gamma



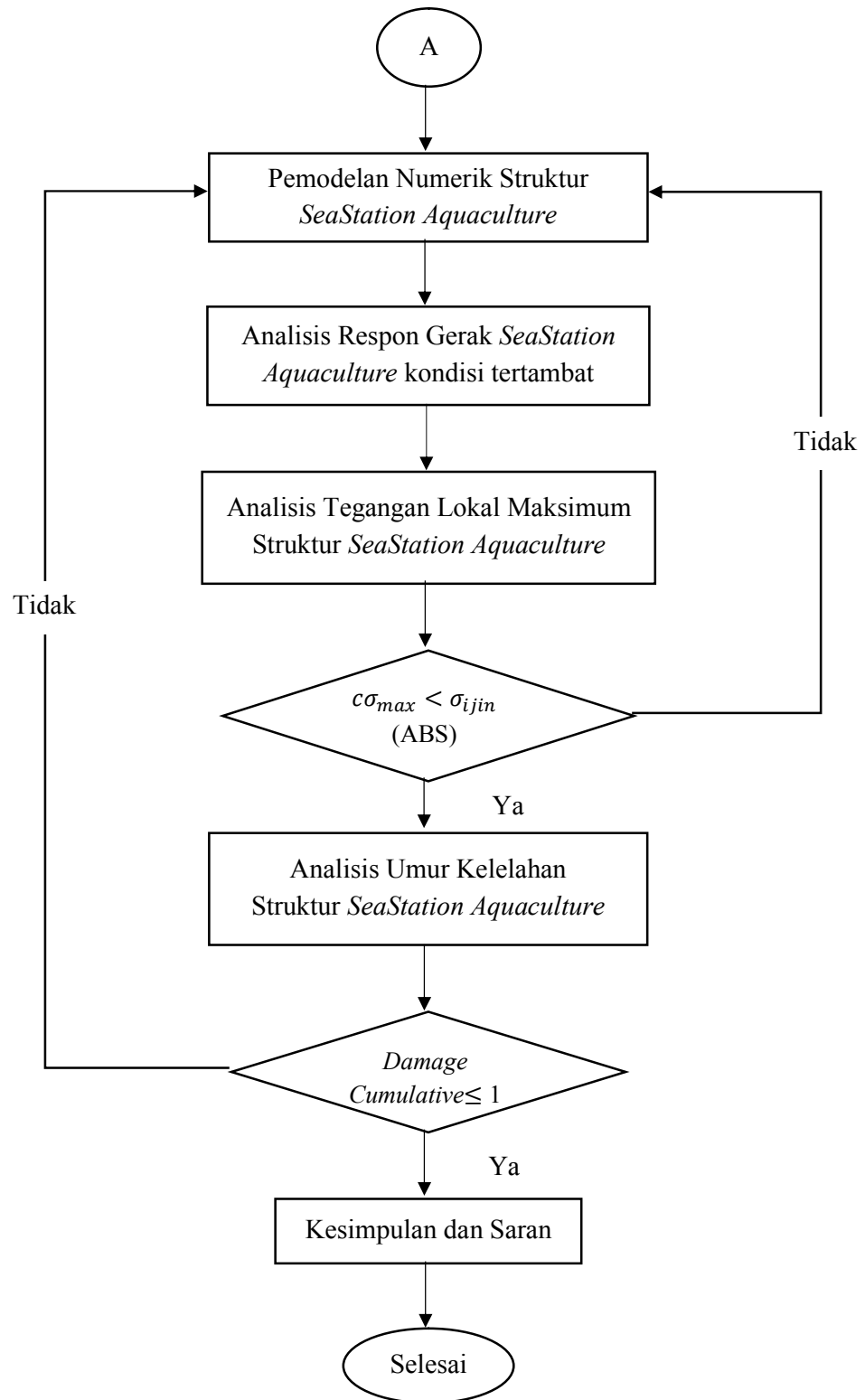
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Skema Diagram Alir

Untuk mempermudah proses pelaksanaan penelitian dalam Tugas Akhir ini, maka disusunlah alur penelitian sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



**Gambar 3.2** Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

## **3.2 Prosedur Penelitian**

### **3.2.1 Mulai**

Langkah awal yang dilakukan adalah merumuskan masalah yang akan dibahas dan batasan permasalahannya.

### **3.2.2 Studi Literatur**

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan buku, paper, maupun jurnal untuk dipelajari. Literatur yang di kumpulkan merupakan literatur yang dapat dijadikan acuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Literatur yang di kumpulkan mengacupada penelitian terdahulu yang pernah membahas hal serupa.

### **3.2.3 Pengumpulan Data dan Analisis Data**

Pengumpulan data struktur *SeaStation Aquaculture* yang pernah ada dan terinstall. Setelah menentukan lokasi yang dapat mewakili keadaan lingkungan perairan dalam di Indonesia, pengumpulan data lingkungan berupa data gelombang dan arus, sebagai pertimbangan desain struktur.

### **3.2.4 Perencanaan Konsep Desain dan Sistem Pendukung *SeaStation Aquaculture***

Pada tahapan ini dilakukan perencanaan terhadap konsep desain struktur *cage*. Hal ini dilakukan agar struktur dapat menyesuaikan keadaan lingkungan perairan dalam di Indonesia. Hal yang direncanakan yaitu:

- Bentuk dan ukuran *SeaStation Aquaculture*
- Sistem instalasi, operasional, *feeding*, *monitoring* dan *harvesting*
- Penentuan jenis sistem *mooring* yang dipakai

### **3.2.5 Perhitungan Beban yang Bekerja pada Struktur dan Beban Lingkungan**

Pada step ini dilakukan serta perhitungan beban yang bekerja pada struktur yang meliputi, *live load*, *feeds load* dan *environment load*.

### **3.2.6 Pemodelan Numerik Struktur serta Analisis RAO**

Pemodelan perlu diperlukan karena sangat berpengaruh terhadap perhitungan kekuatan struktur dan kekuatan penambat. Pemodelan dilakukan untuk menemukan dimensi dan konfigurasi yang tepat dari struktur. Struktur *SeaStation* akan dimodelkan menggunakan software Solidworks. Selanjutnya adalah menganalisis respon struktur akibat adanya beban gelombang. Respon gerak akuakultur dianalisis dengan menggunakan software *ANSYS AQWA*.

### **3.2.7 Analisis Kekuatan Struktur terhadap Beban Operasi dan Lingkungan**

Pada tahapan ini akan menganalisis kekuatan struktur menggunakan *ANSYS WORKBENCH*. Sebelumnya dilakukan pemodelan secara 3D di Solidworks dan pemilihan material yang akan dipakai. Tegangan global pada struktur *semi-submersible aquaculture* dirunning *ANSYS*. Setelah itu dilakukan Analisis dari hasil yang didapat dengan mengacu pada *American Bureau of Shipping* (ABS) untuk mengetahui struktur sudah sesuai kriteria atau tidak.

### **3.2.8 Analisis Umur Kelelahan (*Fatigue Life Analysis*) Struktur**

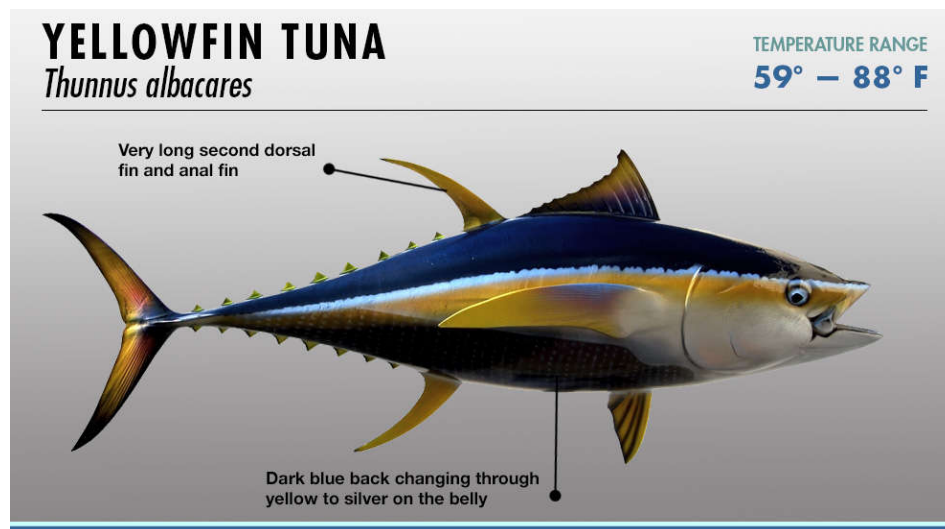
Pada tahapan ini akan dianalisis umur kelelahan pada struktur apakah kuat menahan struktur dan berapa lama struktur dapat beroperasi. Analisis umur kelelahan dari struktur dengan menggunakan kurva S-N berdasarkan hukum kegagalan Palmgren Miner dengan mengestimasi kumulatif kegagalan *fatigue* menggunakan metode *simplified fatigue assessment*.

## BAB IV

### ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Ikan yang dibudidayakan

Ikan yang akan dibudidayakan adalah ikan jenis tuna yang memiliki habitat di laut selatan Indonesia. Penentuan jenis ikan berguna untuk menentukan volume struktur serta ukuran *mesh* jaring. Tuna terdiri dari beberapa *species*, jenis tuna yang dibudidayakan pada Tugas Akhir ini adalah Yellowfin Tuna karena besarnya permintaan pasar terhadap tuna jenis ini. Berikut merupakan morfologi ikan tuna pada umumnya:



**Gambar 4.1** Ikan *Yellowfind* Tuna

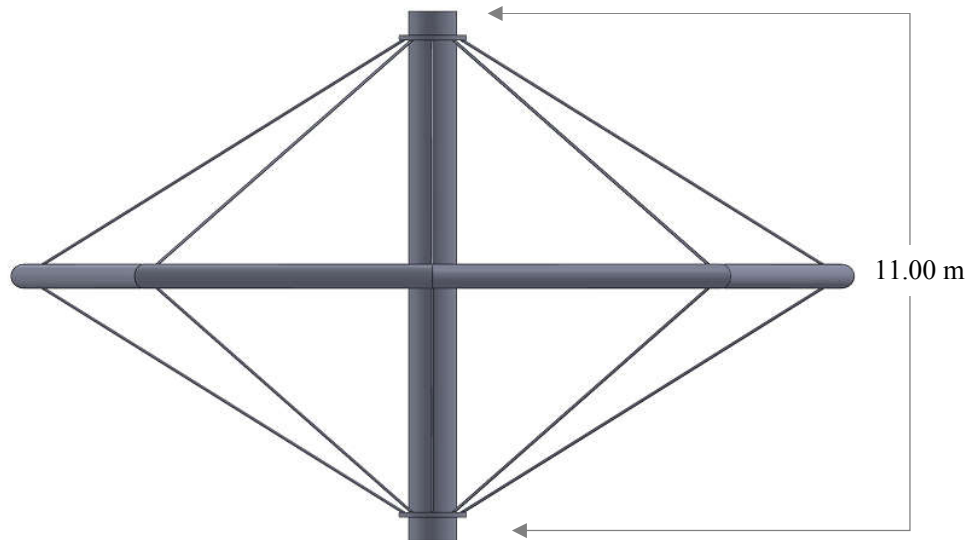
(sumber: goofishbadfish.com, 2017)

**Tabel 4.1** Tabel Dimensi Ikan

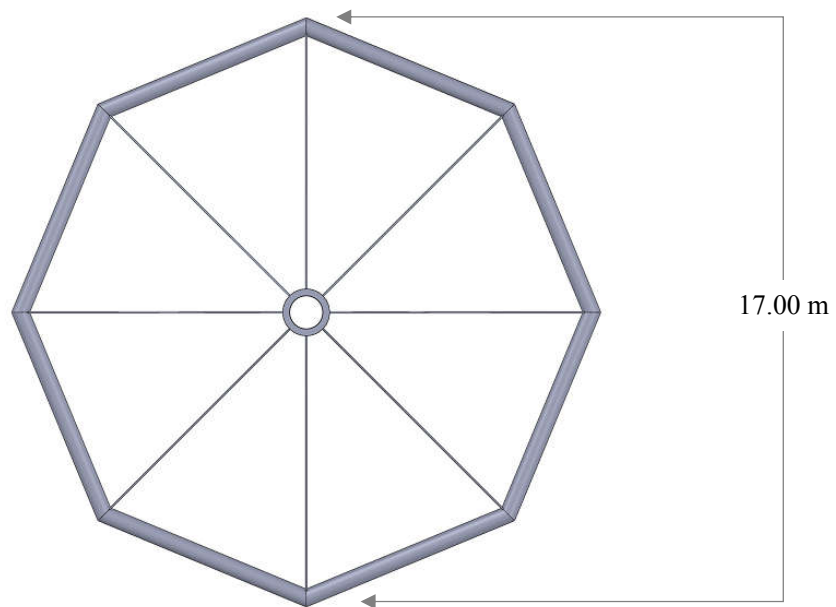
Ikan Awal Masuk			Ikan Siap Panen		
Panjang	0.5	m	Panjang	1-2	m
Lebar	0.1	m	Lebar	0.4	m
Tinggi	0.3	m	Tinggi	0.8	m

## 4.2 Konfigurasi Desain

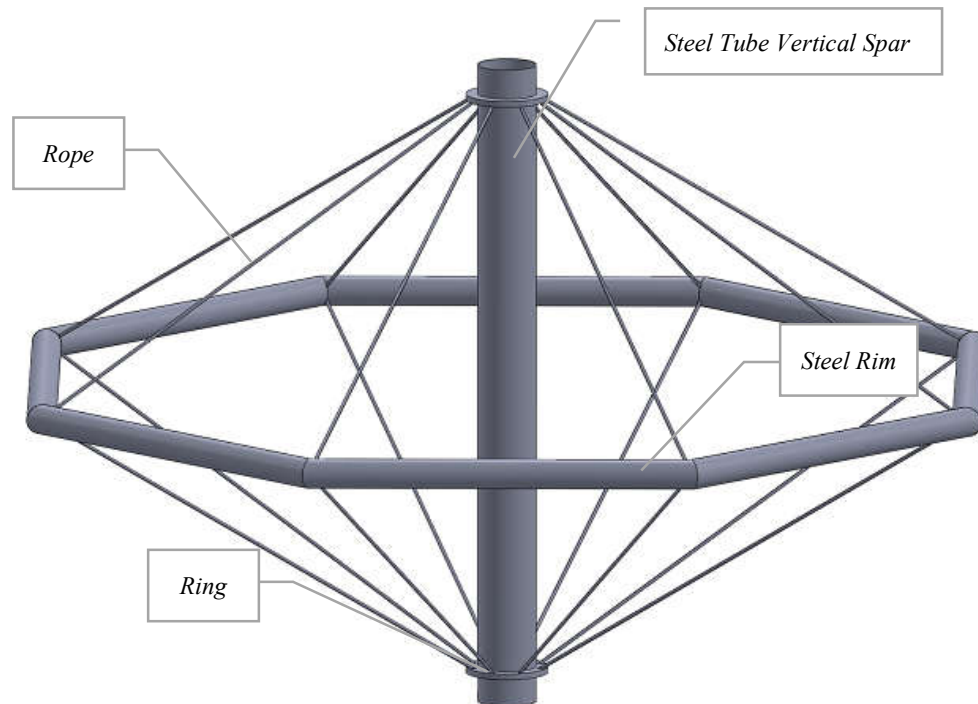
Penentuan konsep desain akuakultur mengacu pada desain yang sudah ada dan diterapkan di Amerika Serikat yaitu model *SeaStation*. Karena model tersebut diterapkan di Indonesia maka memiliki beberapa perubahan dimensi seperti pada Gambar 4.2 sampai Gambar 4.4 berikut :



**Gambar 4.2** Sketsa *SeaStation* Tampak Samping



**Gambar 4.3** Sketsa *SeaStation* Tampak Atas



**Gambar 4.4** *SeaStation Aquaculture* 3 Dimensi

SeaStation Cage ini memiliki volume sebesar  $680 \text{ m}^3$ . Adapun dimensi bagian-bagian struktural adalah sebagai berikut:

- *Steel Tube Vertical Spar*

*Steel Tube Vertical Spar* merupakan tabung horizontal memiliki fungsi sebagai pengapung utama dari struktur *SeaStation*. Adapun dimensinya adalah sebagai berikut:

Outside Diameter	: 40 in
Inside Diameter	: 39 in
Thickness	: 0.5 in
Length	: 11 m
Schedule	: NPS40 XS
Jumlah	: 1 buah

- *Steel Rim*

*Steel Rim* memiliki bentuk utama segi 8 dan mengelilingi spar, yang berfungsi sebagai struktur penguat dan juga pengapung sekunder dari struktur.

Outside Diameter	: 20 in
Inside Diameter	: 19.25 in

Thickness	: 0.375 in
Length	: 6.5 m
Schedule	: NPS20 SCH10
Jumlah	: 8 buah

- *Rope*

*Rope* berfungsi sebagai penyokong yang menghubungkan *steel tube vertical spar* dan *steel rim* agar *net* (jaring) dapat terpasang dengan baik. *Rope* memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Material	: 6 x 36 WS+ IWRC
Diameter	: 2 in
Length	: 9.35 m
Jumlah	: 16

- *Ring*

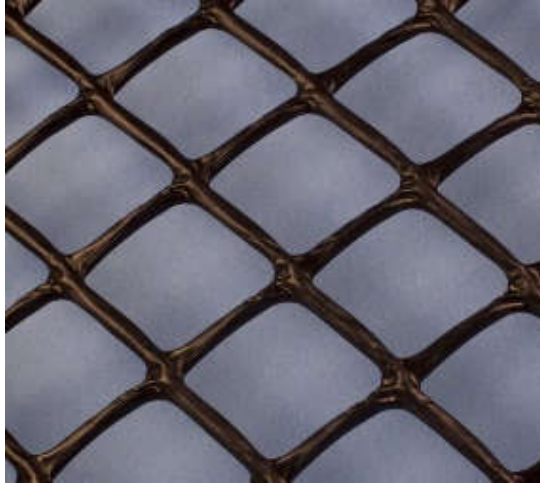
*Ring* merupakan struktur berbentuk cincin yang berada di 2 ujung spar, yang berfungsi sebagai struktur untuk mengaitkan rope yang menghubungkan antara *steel tube vertical spar* dan *steel rim*.

Outer Diameter	: 50 in
Inside Diameter	: 40 in
Thickness	: 5 in
Material	: A36
Panjang	: 0.05 m



- *Net (jaring)*

Jaring yang dipilih ditentukan dengan ukuran ikan pada saat dimasukkan. Jaring mengacu pada desain pasaran yang sudah tersedia dan memilih mata jaring yang sesuai dengan ukuran ikan. Adapun spesifikasi jaring yang dipilih adalah seperti pada Gambar 4.5 berikut:



**Gambar 4.5** Meshing jaring

Dimensi mata jaring : 1.25 x 1.25 in

Material : Black Polyethylene Mesh

PMSF (lbs/1000 sq ft): 120

Dari perhitungan dibawah ini dapatkan massa jaring :

$$\begin{aligned}
 \text{Total Selimut} &= 516.634 \text{ m}^2 \\
 &5560.992 \text{ ft}^2 \\
 \text{Berat Jaring per ft}^2 &= 0.12 \text{ lbs/ft}^2 \\
 &667.319 \text{ Lbs} \\
 &\mathbf{0.303 \text{ Ton}}
 \end{aligned}$$

- *Feeds Load dan Live Load*

*Live load* merupakan beban dari 2 orang karyawan yang sesekali datang mengontrol keadaan *feeding system*. *Feeding system* diasumsikan memiliki massa sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Live Load} &0.200 \text{ ton} \\
 \text{Feed Load} &1.000 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.1 Perhitungan Berat yang Bekerja pada Struktur

Perhitungan berat struktur menggunakan rumus  $m = \rho \times v$  yaitu volume benda dikalikan dengan massa jenis struktur. Berikut merupakan tabel berat struktur.

**Tabel 4.2** Berat yang Bekerja pada Struktur

No	Nama Struktur	Massa
1.	<i>Steel Tube Vertical Spar</i>	3.532 ton
2.	<i>Steel Rim</i>	6.095 ton
3.	<i>Ring</i>	0.716 ton
4.	<i>Rope</i>	2.380 ton
5.	<i>Feed load dan Live Load</i>	1.200 ton
6.	<i>Net</i>	0.303 ton
Massa Total		14.225 ton

#### 4.2.2 Perhitungan *Draft* Struktur

Perhitungan *draft* diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak struktur yang tercelup saat terinstall di laut. Berikut adalah perhitungan *draft* struktur :

**Tabel 4.3** Perhitungan *Draft* Stuktur

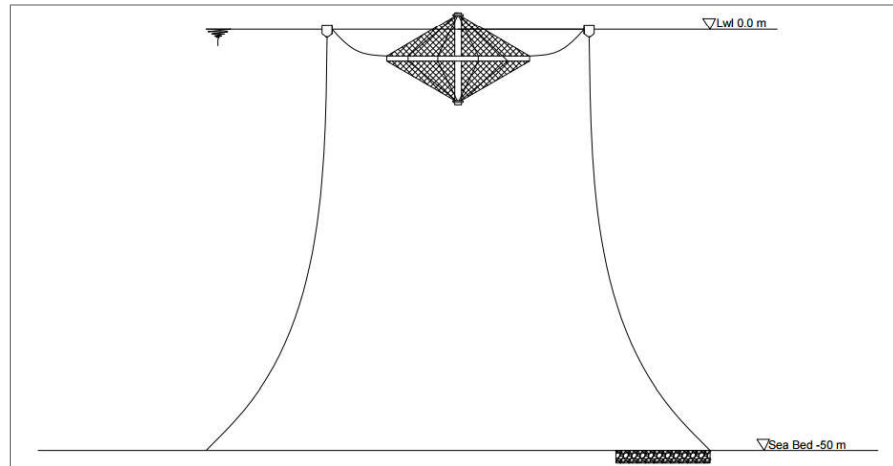
Nama Struktur	W	B
<i>Spar</i>	3531.625	3058.041
<i>Steel Rim</i>	6095.069	10814.138
<i>Ring</i>	715.615	129.778
<i>Rope</i>	2380.294	228.864
<i>Feed load dan Live Load</i>	1200.000	0.000
<i>Net</i>	302.691	0.000
Massa Total	14225.293	14225.821

$$B = W$$

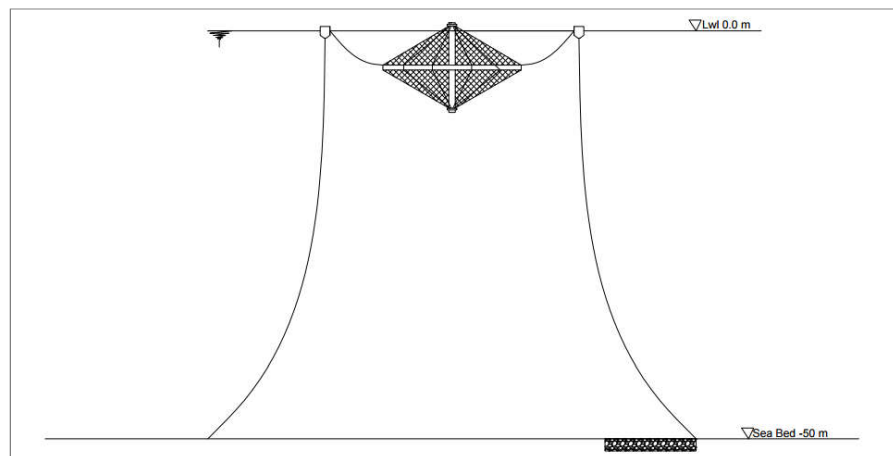
$$\rho_{air} \cdot V_{dspl} = \rho_{baja} \cdot V$$

$$\rho_{air} \cdot (A \cdot T) = \rho_{baja} \cdot V$$

*Draft* struktur adalah 8,1 meter. Dalam kondisi operasi, *draftSeaStation* adalah 9 meter, sehingga perlu adanya penambahan air *ballast* kedalam *Steel Tube Vertical Sparse* sebanyak 362 liter air laut atau pemberat 0.37 ton.



**Gambar 4.6** Struktur *SeaStation* tanpa *Ballast*

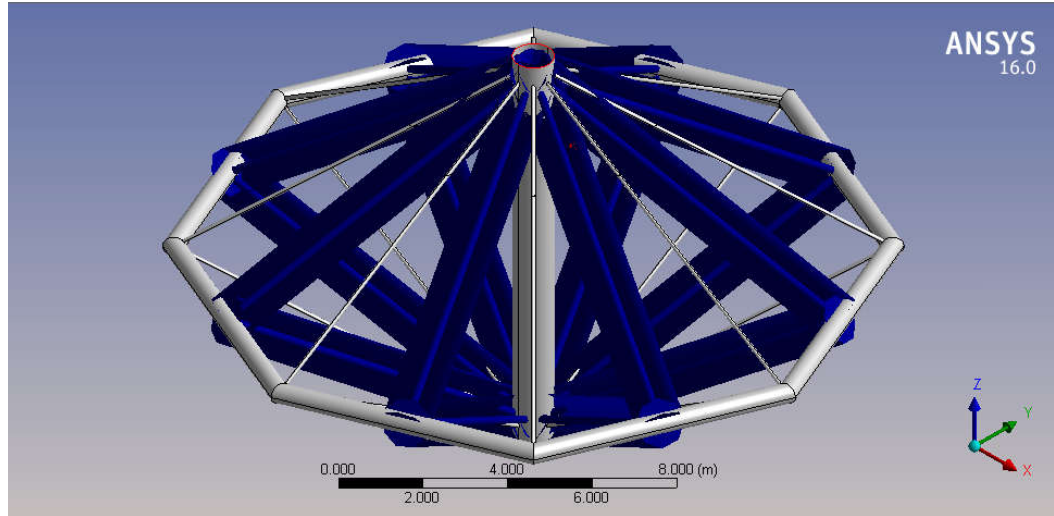


**Gambar 4.7** Struktur *SeaStation* kondisi Operasi

### 4.3 Analisis Pemodelan Numerik Komputer

#### 4.3.1 Model

Permodelan struktur *SeaStation Aquaculture* dibantu dengan menggunakan Solidworks lalu di-*export* dengan format .iges/.sat untuk selanjutnya di-*import* pada pemodelan ANSYS Workbench.



**Gambar 4.8**Pemodelan Jaring pada ANSYS AQWA

Pemodelan jaring di ANSYS AQWA dengan cara memodelkan satu *wire rope* untuk mewakili jaring dari satu sisi struktur. Adapun perhitungan pemodelan jaring adalah pada **Tabel 4.4**berikut:

**Tabel 4.4**Pemodelan Jaring Berdasarkan Kesamaan Berat dan Ukuran

Perhitungan Model Jaring			
Berat total jaring	=	302.69	kg
Berat jaring di tiap sisi <i>SeaStation</i>	=	18.91	kg
Panjang 1 line	=	9	m
Berat 1 line di model	=	2.10	kg/m

Berat *line* untuk masing-masing *SeaStion* didapat dengan cara, berat total keseluruhan jaring dibagi 16, yaitu jumlah sisi dari *SeaStation*. Kemudian dibagi panjang 1 *line* jaring di masing-masing sisi sehingga di dapat berat *line* dalam satuan kg/m. Dengan demikian, model jaring dapat merepresentasikan berat dan ukuran jaring yang sebenarnya.

#### 4.3.2 Meshing

*Meshing* menggunakan tipe yang sudah terkontrol dari software ANSYS dengan detail *mesh* sebagai berikut :

**Tabel 4.5** Detail *Meshing* Menggunakan Software ANSYS Workbench

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Meshed
<b>Mesh Parameters</b>	
Defeaturing Tolerance	0.07 m
Max Element Size	0.15 m
Max Allowed Frequency	9.43 rad/s
<b>Generated Mesh Information</b>	
Number of Nodes	22061
Number of Elements	22125
Number of Diff Nodes	20068
Number of Diff Elements	20076

#### 4.4 Analisis Respon Gerak Struktur

##### 4.4.1 Data Lingkungan

Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini berupa data gelombang, arus dan angin di Laut Timor. Adapun data-datanya adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.6** Data Lingkungan 100 tahunan Laut Timor (DNV OS-E301)

<b>Wave</b>	<b>Hs</b>	<b>=</b>	<b>4.8</b>	<b>m</b>
	<b>Tp</b>	<b>=</b>	<b>11.5</b>	<b>s</b>
<b>Current</b>		<b>=</b>	<b>1.1</b>	<b>m/s</b>

##### 4.4.2 RAO *Free Floating*

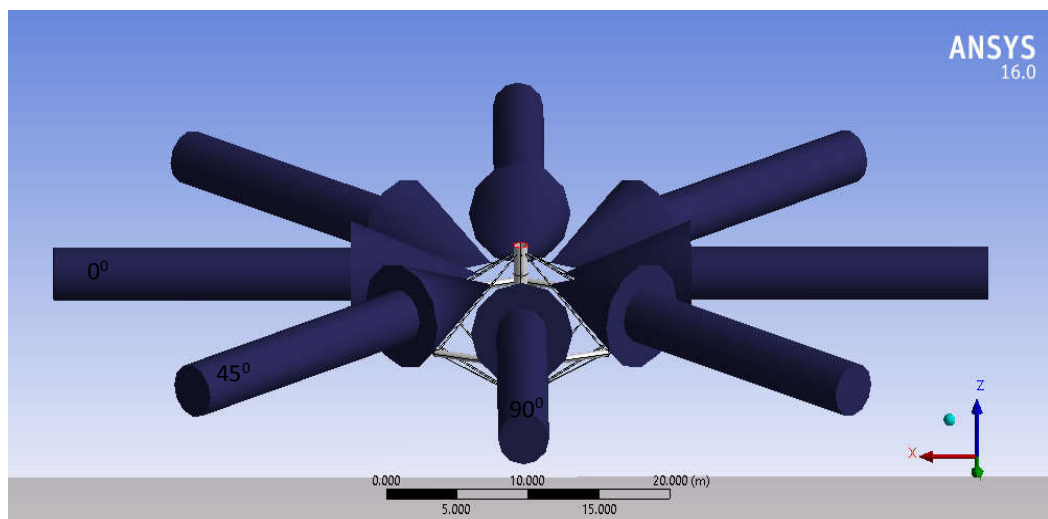
Pada step ini akan di Analisis bagaimana respon gerakan struktur terhadap gelombang setinggi 1 m. Perhitungan motion untuk kondisi *free floating* pada struktur sarat 9 m dengan kedalaman laut 50 m. Berikut adalah grafik RAO struktur *free floating* untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, *yaw* dengan *heading angle* 0°, 45°, dan 90°. Berikut adalah gerak dominan yang dipengaruhi oleh masing-masing *heading*:

1. *Head Seas* ( $\alpha=0^\circ$ )

Pada arah  $0^\circ$  gerakan dominan yang terjadi adalah gerakan *surge*, *heave*, dan *pitch*. Sedangkan gerakan *sway*, *roll*, dan *yaw* sangat kecil.

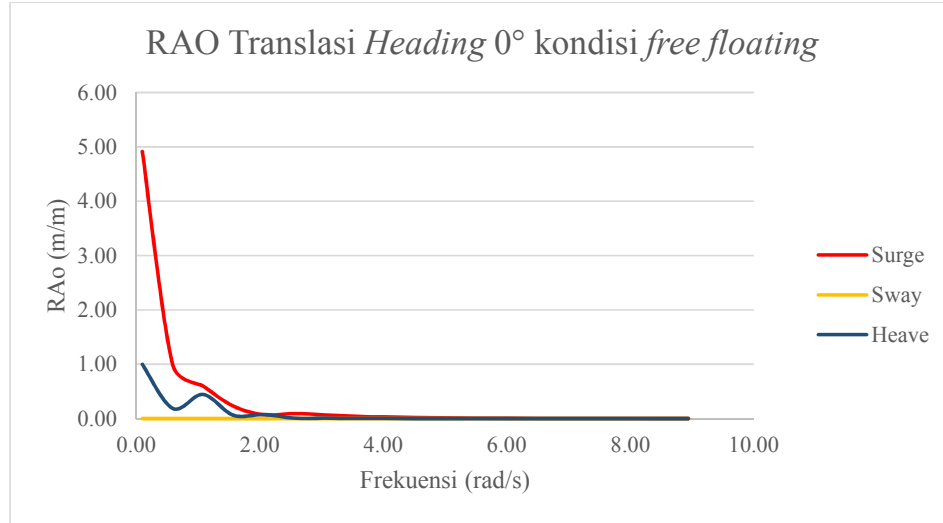
2. *Beam Seas* ( $\alpha=90^\circ$ )

Pada arah  $90^\circ$  gerakan dominan yang terjadi adalah gerakan *sway*, *heave*, *roll* dan Sedangkan gerakan, *surge*, *pitch*, dan *yaw* tidak sangat kecil.



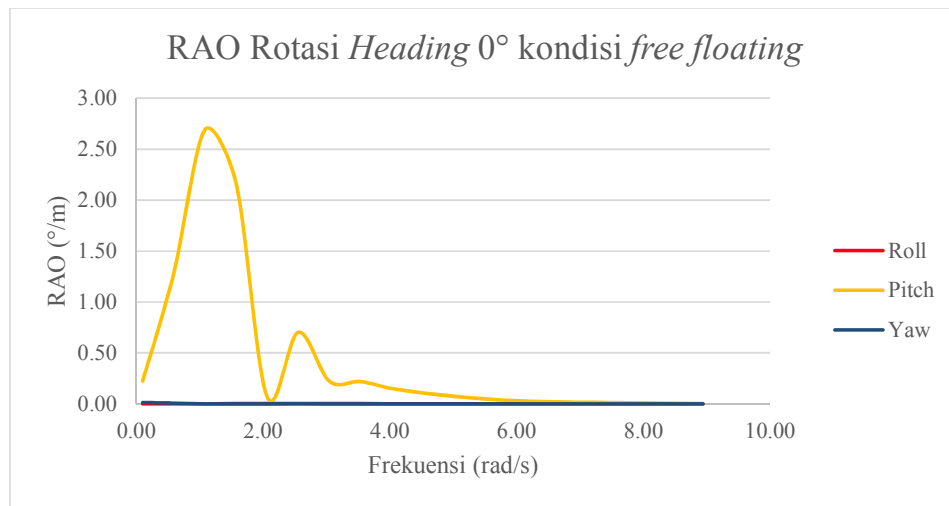
**Gambar 4.9** Arah Pembebanan Gelombang pada Struktur

#### 4.4.2.1 RAO Free Floating



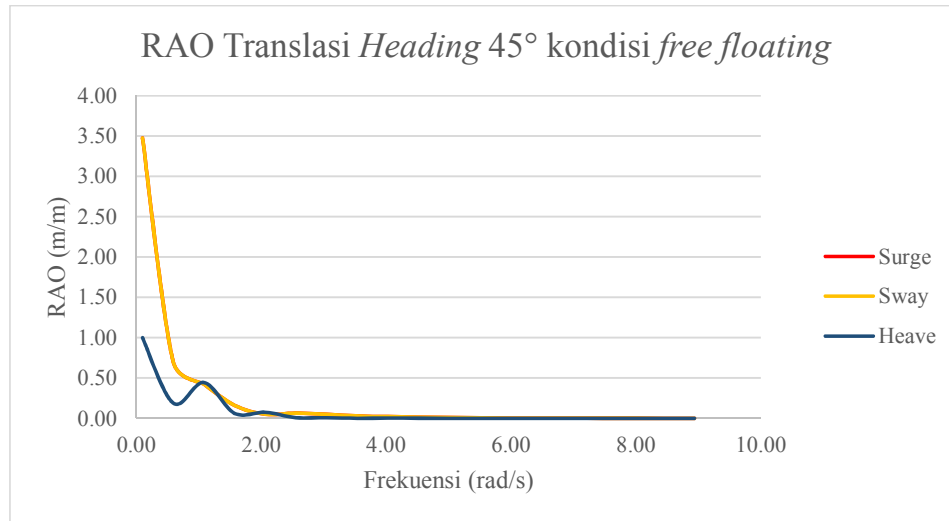
**Gambar 4.10** Grafik RAO Translasi *SeaStation Aquaculture* kondisi *free floating* pada *heading 0°*

Pada *heading 0°*, gerakan *surge* terjadi sebesar 4.91 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, gerakan *heave* sebesar 1 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s dan gerakan *sway* hampir mendekati 0.



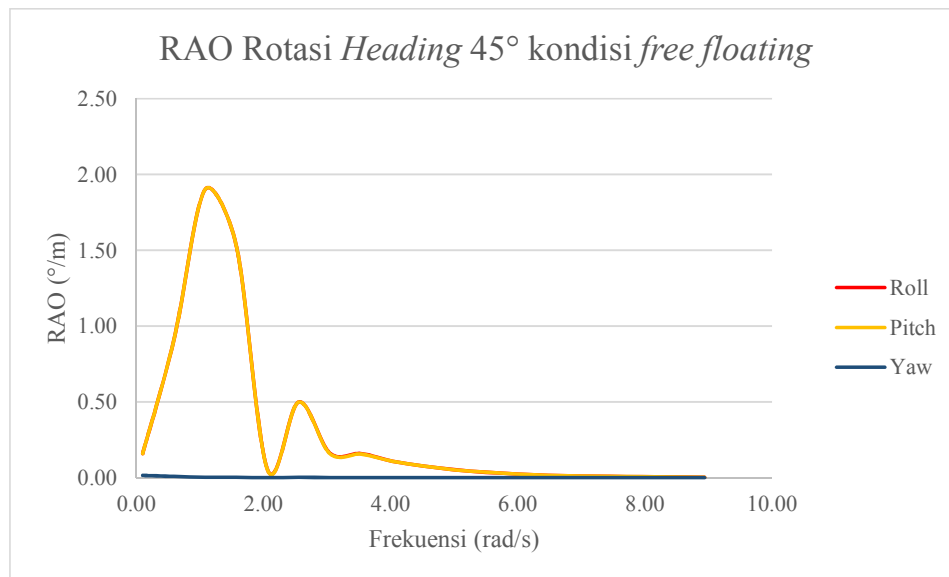
**Gambar 4.11** Grafik RAO Rotasi *SeaStation Aquaculture* kondisi *free floating* pada *heading 0°*

Pada *heading 0°*, gerakan *roll* dan *yaw* hampir mendekati 0 m/m, gerakan *pitch* sebesar 2,69 deg/m pada frekuensi 1,08 rad/s.



**Gambar 4.12** Grafik RAO Translasi *SeaStation Aquaculture* kondisi *free floating* pada heading 45°

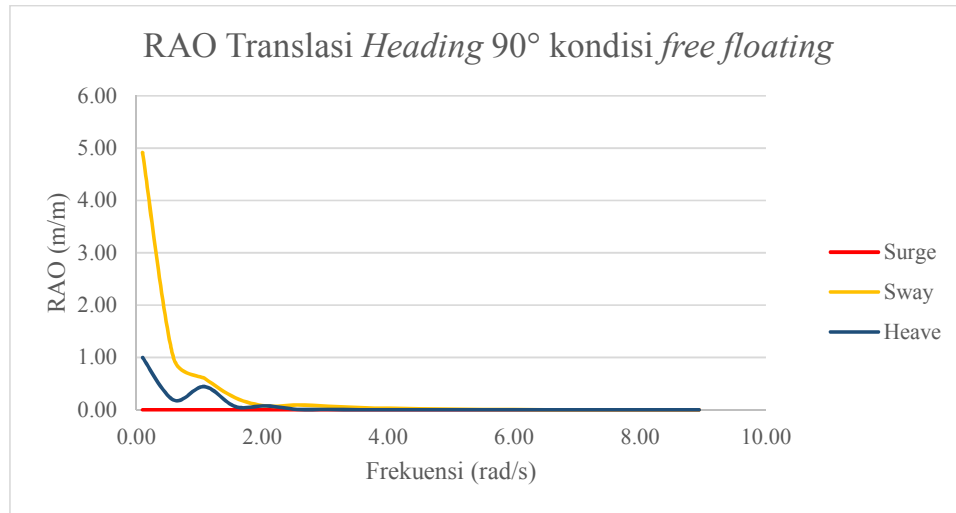
Pada heading 45°, gerakan *surge* terjadi sebesar 3.48 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, gerakan *heave* sebesar 1 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s dan gerakan *sway* hampir mendekati 0.



**Gambar 4.13** Grafik RAO Rotasi *SeaStation Aquaculture* kondisi *free floating* pada heading 45°

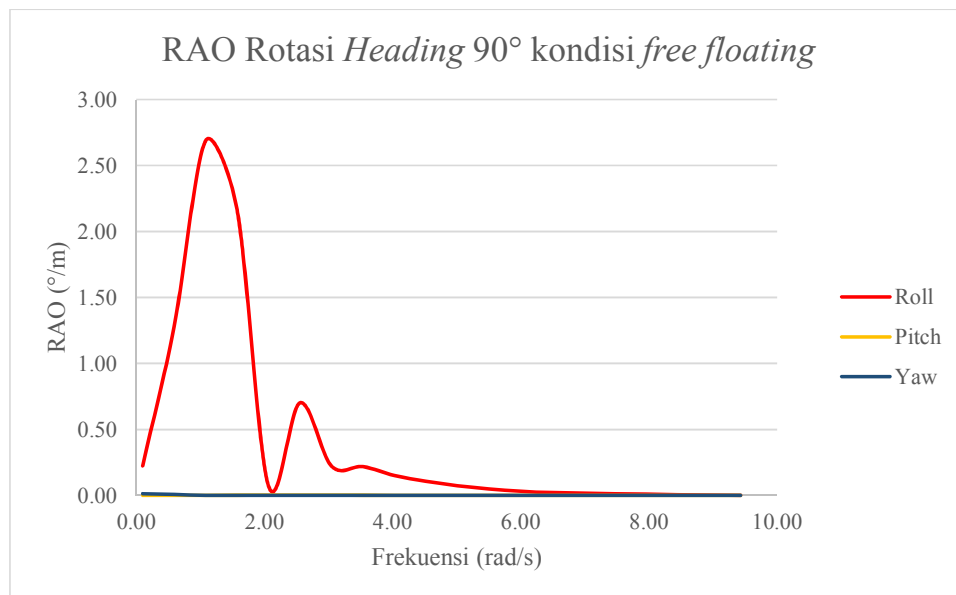
Pada heading 45°, gerakan *roll* dan *yaw* hampir mendekati 0 m/m, gerakan *pitch* sebesar 1.9 deg/m pada frekuensi 1.08 rad/s.





**Gambar 4.14** Grafik RAO Translasi *SeaStation Aquaculture* kondisi *free floating* pada *heading 90°*

Pada *heading 90°*, gerakan *sway* terjadi sebesar 4,91 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, gerakan *heave* sebesar 1 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s dan gerakan *surge* hampir mendekati 0.

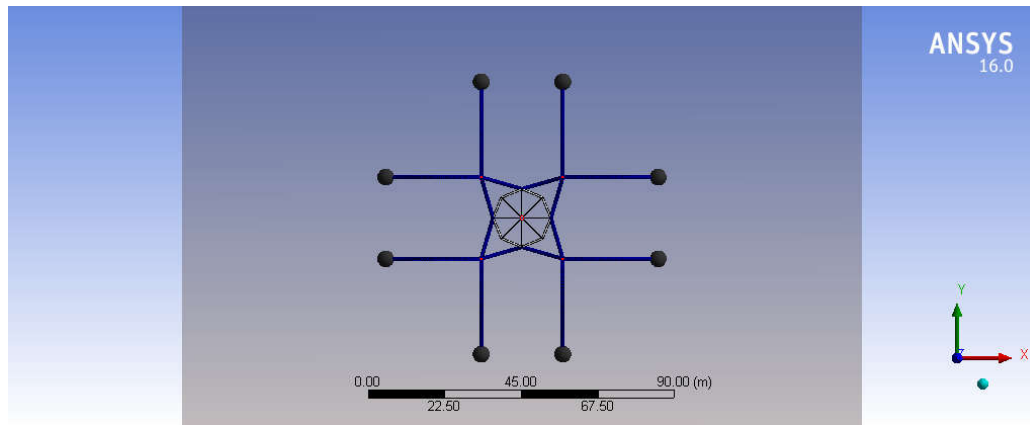


**Gambar 4.15** Grafik RAO Rotasi *SeaStation Aquaculture* kondisi *free floating* pada *heading 90°*

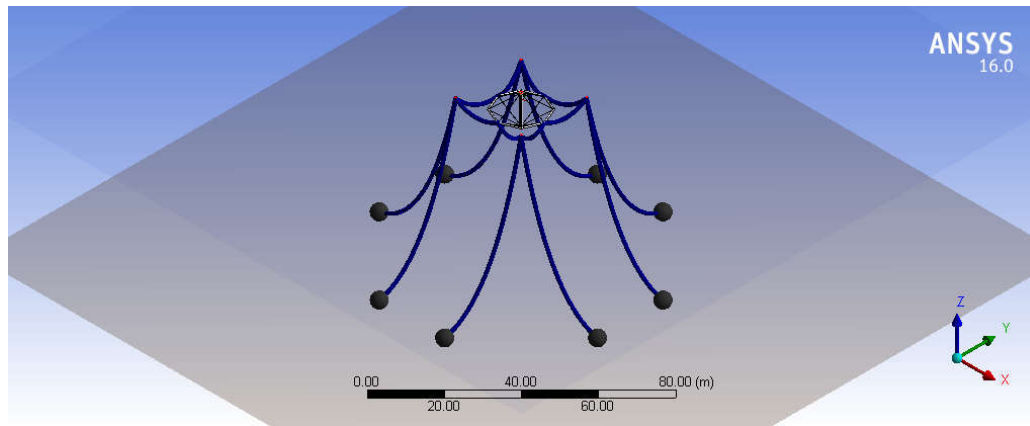
Pada *heading 45°*, gerakan *roll* terjadi sebesar 2.69 deg/m dan *pitch* dan *yaw* hampir mendekati 0 m/m.

#### 4.5 Pemodelan *Mooring System*

Pada struktur *SeaStation Aquaculture* yang jenis mooring yang dibuat adalah *catenary buoy mooring*. Tipe konfigurasi mooring yang digunakan adalah *Rectangular Array*, dimana ada 8 line yang menghubungkan struktur dengan buoy dan 8 line yang menghubungkan *buoy* dengan jangkar. Sehingga pemodelan *mooring system* tampak seperti pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 berikut.

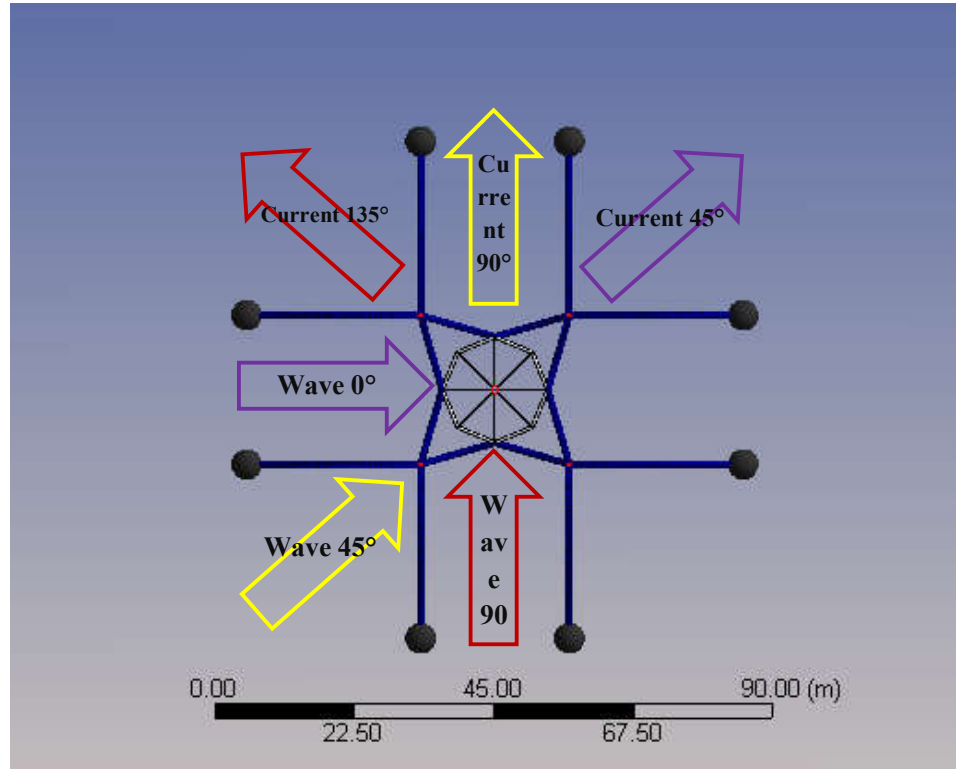


**Gambar 4.16** Pemodelan *Mooring* Struktur *SeaStation* Tampak Atas



**Gambar 4.17** Pemodelan *Mooring* Struktur *SeaStation* Tampak Isometris

Kombinasi beban yang bekerja pada *mooring system* berupa beban gelombang dan beban arus. Adapun kombinasi pembebanan pada *mooring system* tampak seperti pada Gambar 4.18 berikut.



**Gambar 4.18** Arah Pembebanan Gelombang dan Arus

#### 4.5.1 *Mooring Line*


Jenis tali tambat yang digunakan *mooring system* dalam Tugas Akhir ini adalah rope. Wire Rope yang digunakan merupakan produk dari Bridon yaitu Diamond Blue grade. Setelah itu dilakukan perhitungan *safety factor* untuk mengetahui apakah *wire rope* yang digunakan aman atau tidak. Setelah dilakukan percobaan terhadap berbagai ukuran dan jenis *wire rope* didapatkan ukuran *wire rope* yang paling optimal yaitu *wire rope* dengan ukuran diameter 52 mm untuk tali yang menghubungkan antara struktur *SeaStation* dengan *buoy*. Sedangkan tali yang menghubungkan *buoy* dengan jangkar memiliki diameter 54 mm dengan kedalaman 50 m, panjang tali yang digunakan sepanjang 60 m. Dengan spesifikasi sebagai berikut.

Rope diameter		Approximate mass				Minimum breaking force (F <sub>min</sub> )			Axial stiffness @20% load		Torque generated @20% load		Metallic cross section	
		In air		Submerged							Ordinary lay			
mm	in	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft	kN	Tonnes	Tons (2000lb)	MN	Mlbs	kN.m	lbs.ft	mm²	in²
52		11.7	8.87	11.5	7.72	2231	227	251	140	32	1.5	1113	1338	2.07
54	2 1/8	12.6	8.87	11.5	7.72	2406	245	270	151	34	1.7	1246	1443	2.24
56		13.6	9.54	12.4	8.30	2587	264	291	163	37	1.9	1390	1552	2.41
57.2	2 1/4	14.2	10.0	13.0	8.71	2699	275	303	170	38	2.0	1481	1619	2.51
60		15.6	10.5	13.6	9.11	2970	303	334	187	42	2.3	1709	1781	2.76
60.3	2 3/8	15.7	10.6	13.7	9.20	3000	306	337	189	42	2.4	1735	1799	2.79
63.5	2 1/2	17.5	11.7	15.2	10.2	3327	339	374	209	47	2.7	2026	1995	3.09
64		17.7	11.9	15.4	10.4	3379	344	380	213	48	2.8	2075	2027	3.14

**Gambar 4.19** Pilihan *Wire Rope* tipe Endurance Diamond Blue Grade  
(sumber: Bridon Oil and Gas, 2017)

#### 4.5.2 Buoy

Buoy yang digunakan dalam pemodelan *mooring system* adalah *buoy* dari *Polyform the Originator of the modern Plastic Buoy* yang merupakan *buoy* khusus untuk aquaculture Aqua 3000 dengan spesifikasi sebagai berikut.

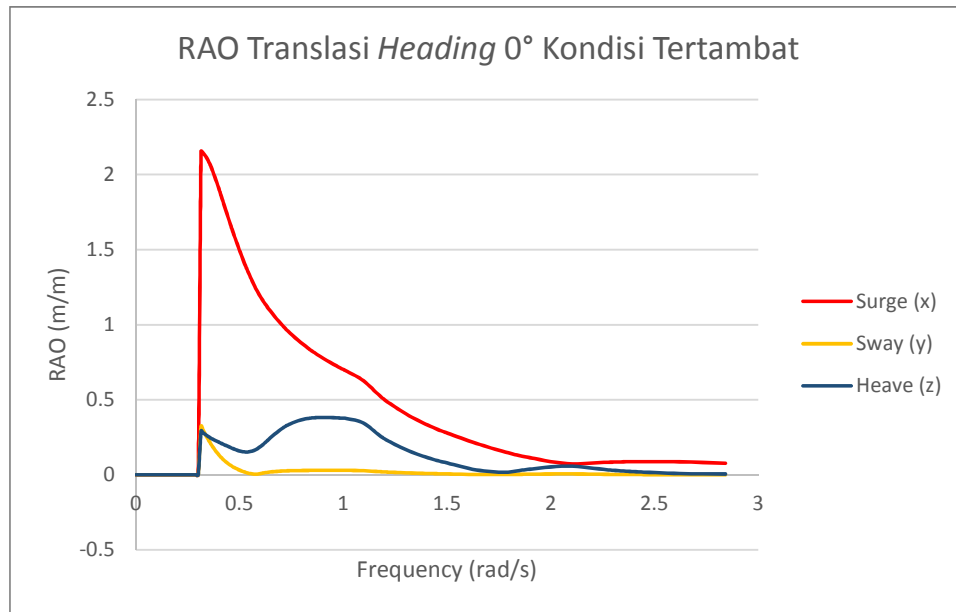


Type	Volume in liter	Weight in kg	Net buoyancy kg	Length in cm	Diameter in cm	Light armature option
Aqua 250	260	32	228	113	65	no
Aqua 600	620	55	560	165	77 x 77	no
Aqua 600 Pre	620	60	560	127	120	no
Aqua 850	873	73	800	143	120	yes
Aqua 1100	1130	95	1035	165	120	yes
Aqua 1350	1380	118	1262	188	120	yes
Aqua 1600	1640	130	1510	213	120	yes
Aqua 2000	2020	180	1900	228	117 x 117	yes
Aqua 2500	2550	210	2340	210	160	yes
Aqua 3000	3050	235	2815	235	160	yes
Aqua 4000	4075	285	3790	235	194	yes

**Gambar 4.20** Tipe Buoy untuk *Mooring Aquaculture*  
(sumber: Polyform, 2017)

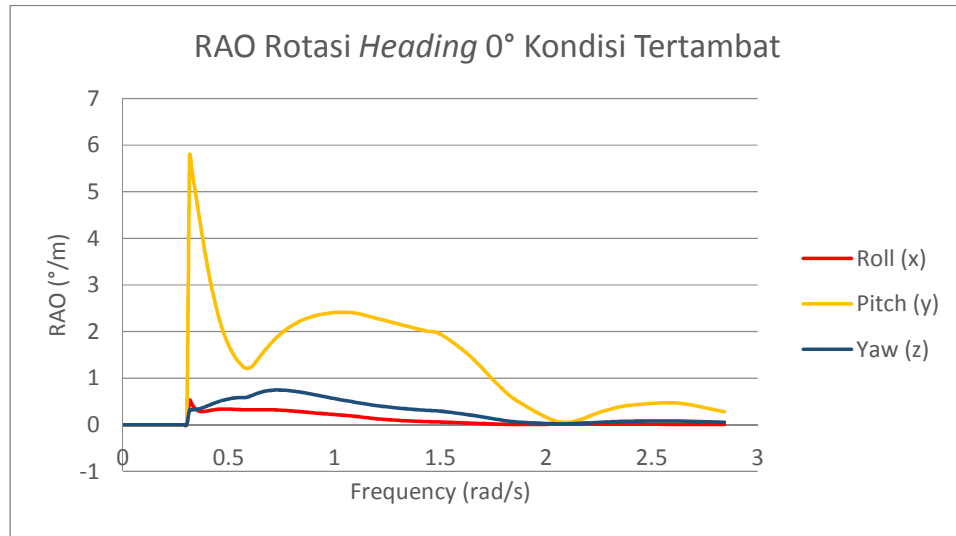
#### 4.5.3 RAO Tertambat pada *SeaStation Aquaculture*

Perhitungan motion struktur *SeaStation* untuk kondisi tertambat dilakukan pada sarat 9 m dengan kedalaman laut 50 m. Berikut adalah grafik RAO tertambat pada *SeaStation* kondisi full load untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, *yaw* dengan heading angle  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$ .



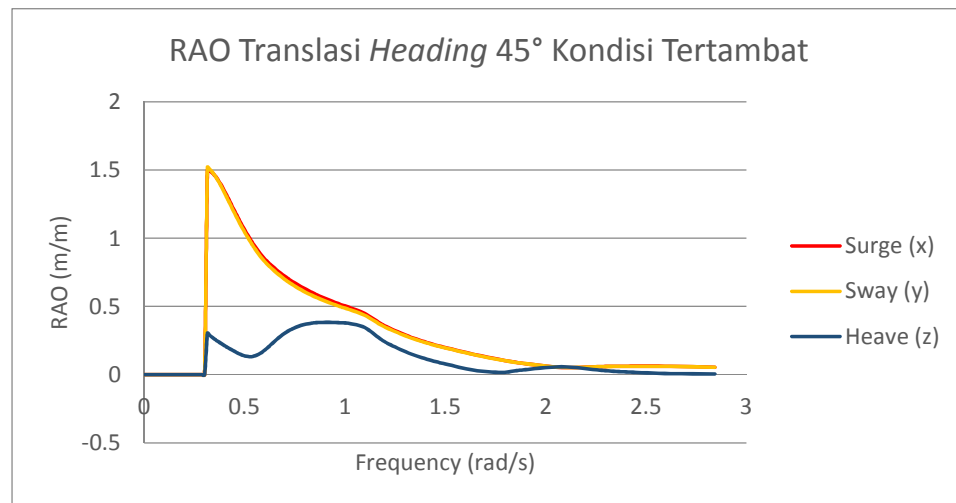
**Gambar 4.21** Grafik RAO Translasi Tertambat *SeaStation Aquaculture* pada heading  $0^\circ$

Pada heading  $0^\circ$ , amplitudo gerakan *surge* terjadi sebesar 2.15 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.38 m/m pada frekuensi 0.92 rad/s dan amplitudo gerakan *sway* sebesar 0.32 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s.



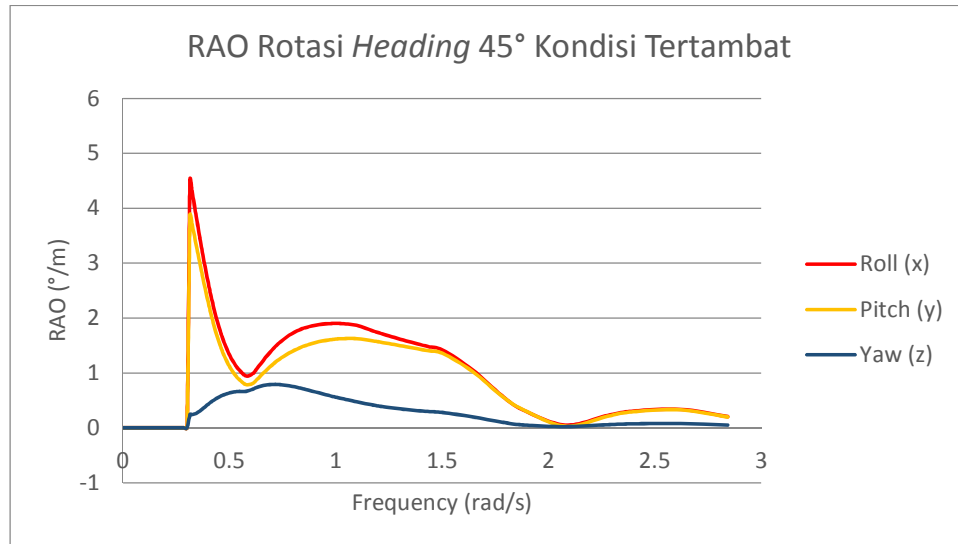
**Gambar 4.22** Grafik RAO Rotasi Tertambat *SeaStation* pada heading 0°

Pada heading 0°, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 5.77 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 0.52 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, dan amplitudo gerakan *yaw* terjadi sebesar 0.74 deg/m pada frekuensi 0.73 rad/s.



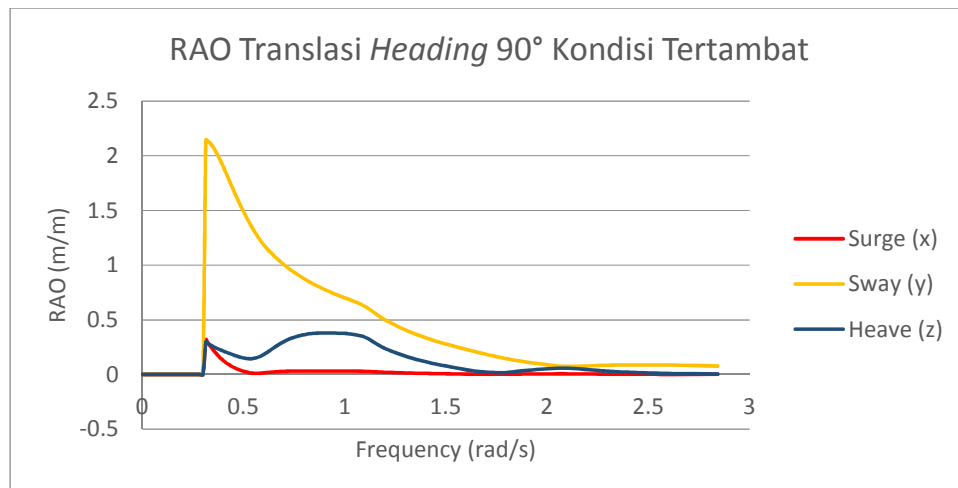
**Gambar 4.23** Grafik RAO Translasi Tertambat *SeaStation* pada heading 45°

Pada heading 45°, amplitudo gerakan *surge* terjadi sebesar 1.49 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *sway* sebesar 1.52 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s dan amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.38 m/m pada frekuensi 0.92 rad/s.



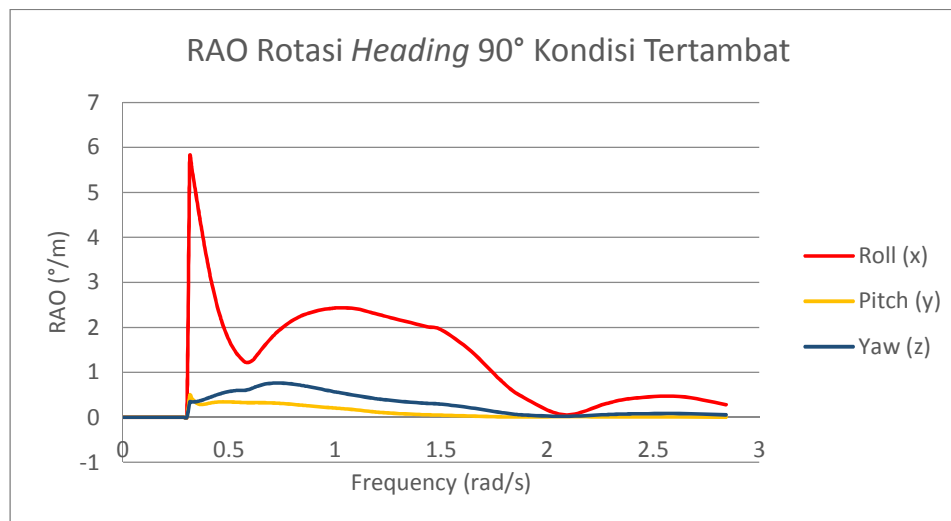
**Gambar 4.24** Grafik RAO Rotasi Tertambat *SeaStation* pada heading 45°

Pada heading 45°, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 3.87 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 4.52 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, dan amplitudo gerakan *yaw* terjadi sebesar 0.79 deg/m pada frekuensi 0.70 rad/s.



**Gambar 4.25** Grafik RAO Translasi Tertambat *SeaStation* pada heading 90°

Pada heading 90°, amplitudo gerakan *surge* terjadi sebesar 3.17 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *heave* sebesar 0.38 m/m pada frekuensi 0.92 rad/s dan amplitudo gerakan *sway* sebesar 2.14 m/m pada frekuensi 0.31 rad/s.



**Gambar 4.26** Grafik RAO Rotasi Tertambat *SeaStation* pada heading 90°

Pada heading 90°, amplitudo gerakan *pitch* terjadi sebesar 0.49 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, amplitudo gerakan *roll* terjadi sebesar 5.80 deg/m pada frekuensi 0.31 rad/s, dan amplitudo gerakan *yaw* terjadi sebesar 0.76 deg/m pada frekuensi 0.73 rad/s.

**Tabel 4.7** Nilai RAO Struktur Tertinggi pada struktur *SeaStation Aquaculture* kondisi tertambat

Heading	Gerakan Translasi			Grakan Rotasi		
	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
	(m/m)			(deg/m)		
0	2.15	0.32	0.38	0.52	5.78	0.75
45°	1.50	1.52	0.38	4.53	3.88	0.79
90°	0.32	2.14	0.38	5.81	0.49	0.76

Dari **Gambar 4.21** sampai dengan **Gambar 4.26** dan **Tabel 4.7** maka dapat disimpulkan bahwa respon struktur *SeaStation Offshore Aquaculture* kondisi tertambat (gelombang 100 tahunan) di perairan Laut Selatan untuk gerakan *surge* terjadi paling besar akibat heading 0° yaitu 2.15(m/m). RAO tertambat untuk gerakan *sway* terjadi paling besar akibat heading 90°, yaitu dengan nilai 2.14 (m/m). RAO tertambat untuk gerakan *heave* terjadi disemua heading yaitu dengan nilai 0.38(m/m). RAO tertambat untuk gerakan *roll* terjadi paling besar akibat heading 90°, yaitu 5.81 (deg/m). Respon struktur untuk gerakan

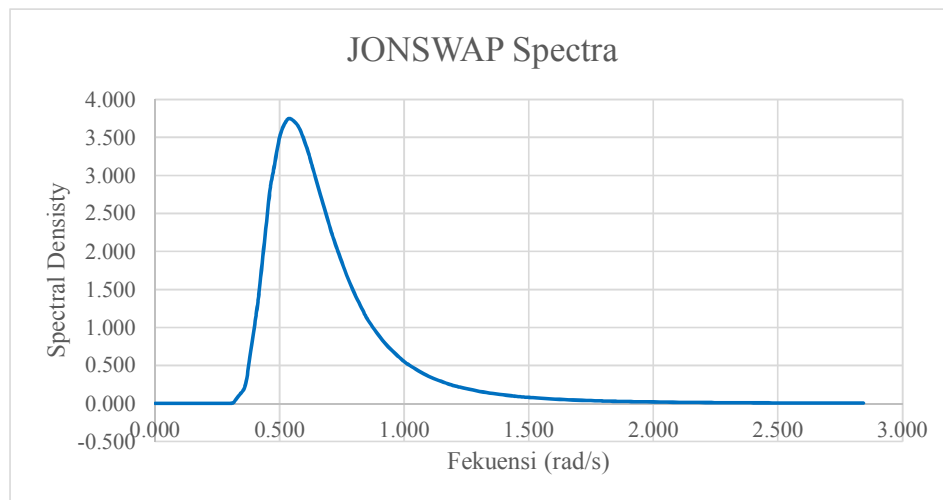


*pitch* terjadi paling besar akibat *heading* 0°, yaitu 5.78(deg/m). RAO tertambat untuk gerakan *yaw* terjadi paling besar akibat *heading* 45° yaitu dengan nilai yang hampir sama yaitu 0.79(deg/m).

#### 4.5.4 Analisis Spektrum Gelombang

Dalam pemilihan spektrum gelombang untuk analisis respon gerak struktur pada gelombang acak didasarkan pada kondisi real laut yang ditinjau. Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini adalah Spektrum JONSWAP yang didasarkan pada kondisi lingkungan Perairan Laut Timor yang termasuk dalam daerah perairan tertutup.

Perhitungan untuk menentukan nilai  $\gamma$  yang sesuai dengan kondisi lingkungan. Berdasarkan DNV OS E 301 periode puncak gelombang ( $T_p$ ) kondisi ekstrem 100 tahunan pada perairan Laut Selatan adalah 11.5 s dan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) adalah 4.8 m. Sehingga  $\frac{T_p}{\sqrt{H_s}} = 5.2$ , maka untuk nilai  $\gamma$  adalah 1.



**Gambar 4.27** Grafik Spektrum Gelombang JONSWAP ( $H_s = 4,8$  m,  $T_p = 11,5$  s)

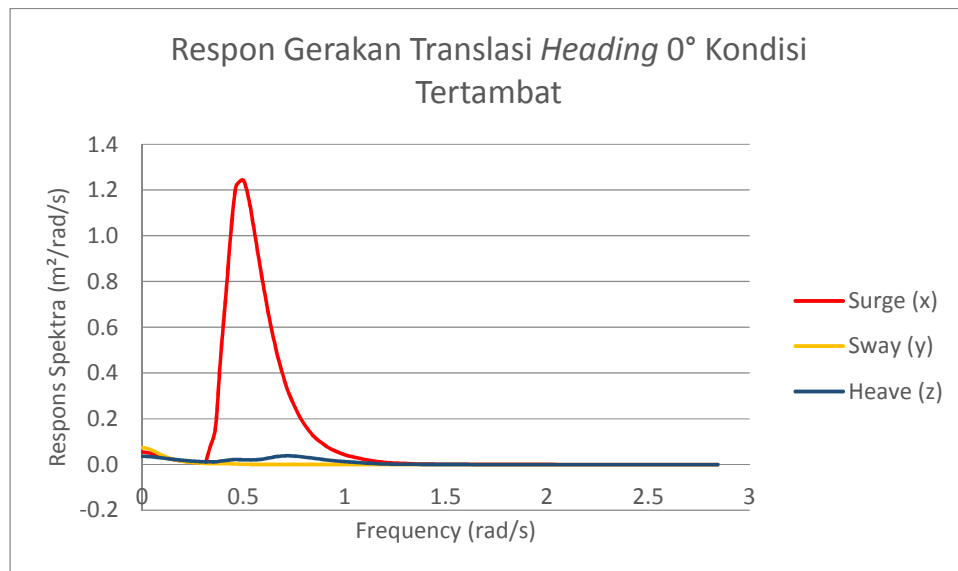
Selanjutnya akan dihitung respon struktur *SeaStation* sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektra respon didapatkan dengan cara mengkalikan harga spektra gelombang pada daerah struktur beroperasi dengan RAO kuadrat.

$$S_{\phi}(\omega_e) = RAO^2 x S_{\zeta}(\omega_e) \dots\dots\dots 4.2$$

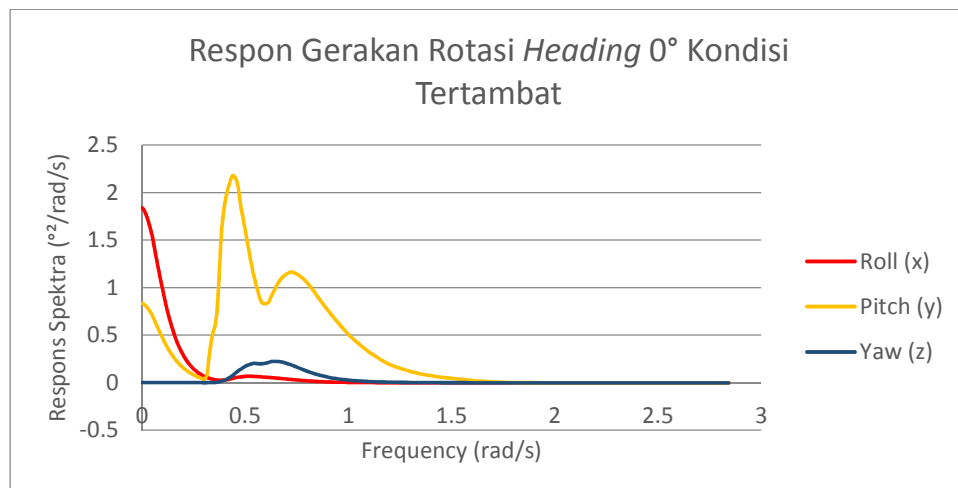
Hasil analisis perilaku gerak pada gelombang acak yang akan dijabarkan di bawah ini.

#### 4.5.5 Analisis Spektrum Respon Struktur

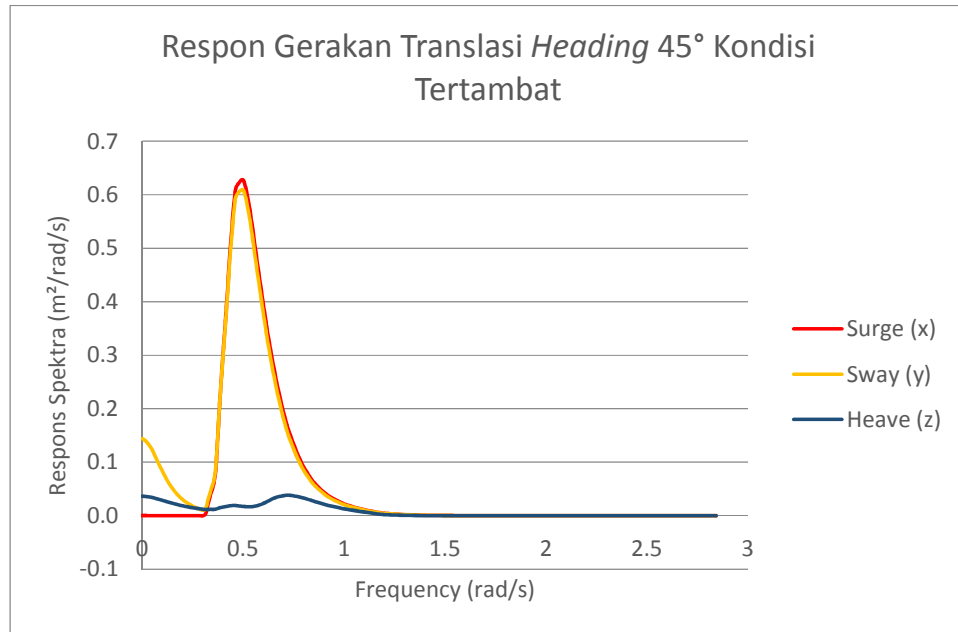
Perhitungan respon spektra untuk struktur *SeaStation* dilakukan pada sarat 9 m dengan kedalaman laut 50 m. Berikut adalah grafik respon spektra pada kondisi tertambat untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, *yaw* dengan *heading angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$ .



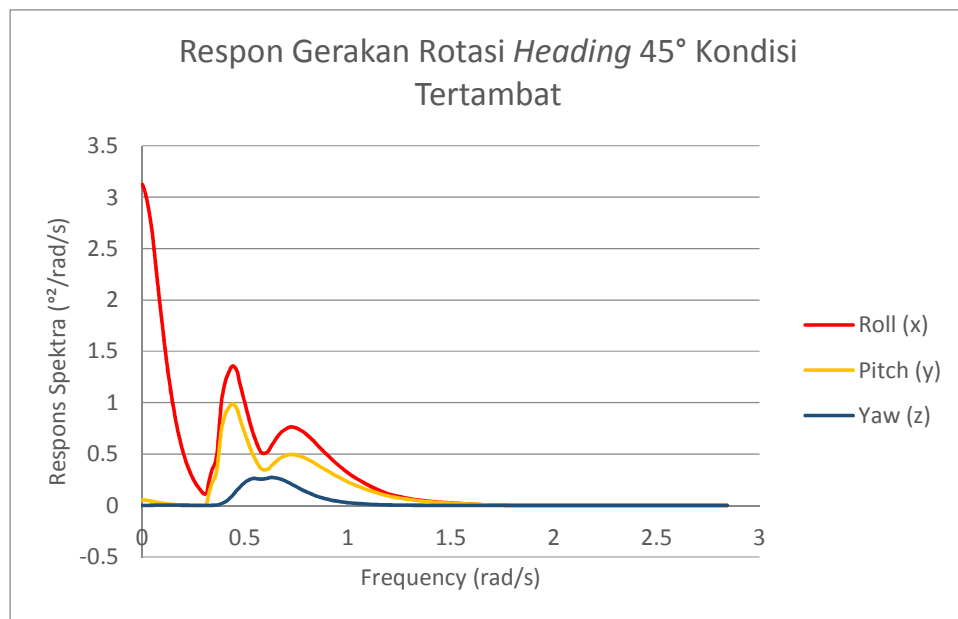
**Gambar 4.28** Grafik Respon Gerakan Translasi *Heading*  $0^\circ$  Kondisi Tertambat



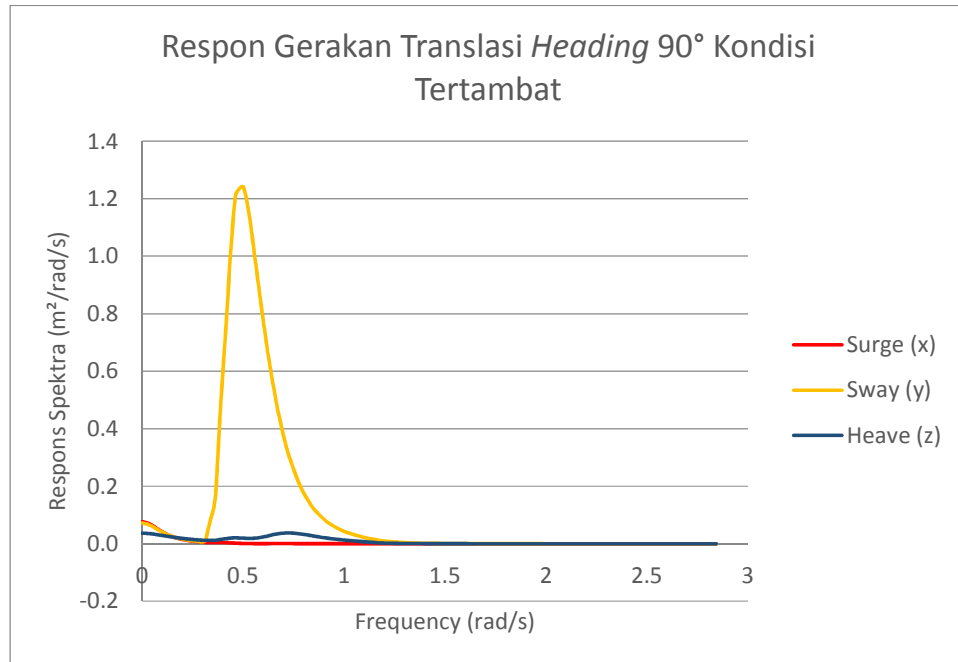
**Gambar 4.29** Grafik Respon Gerakan Rotasi *Heading*  $0^\circ$  Kondisi Tertambat



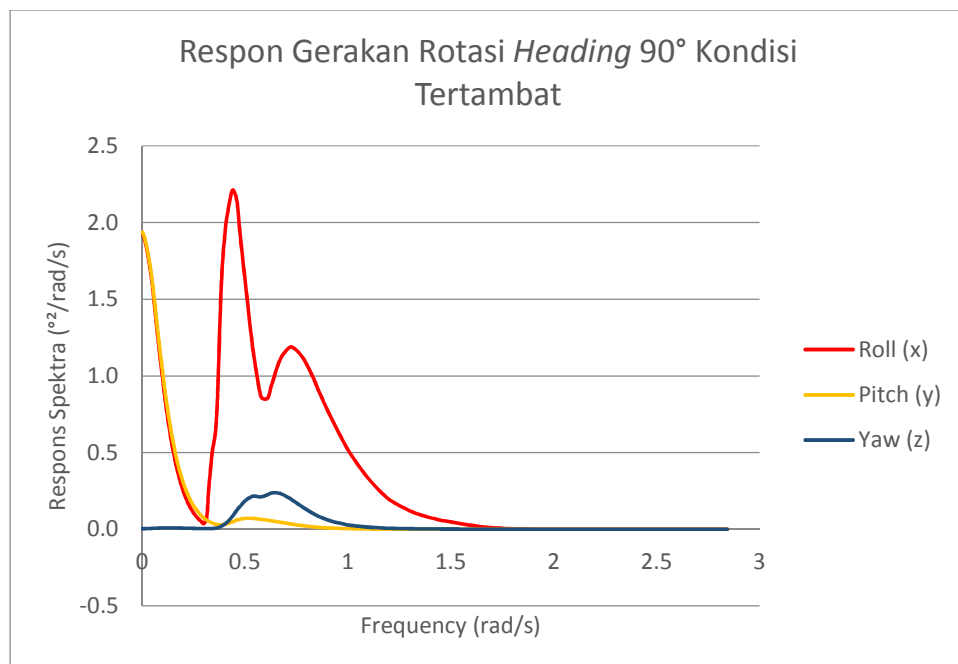
**Gambar 4.30** Grafik Respon Gerakan Translasi *Heading* 45° Kondisi Tertambat



**Gambar 4.31** Grafik Respon Gerakan Rotasi *Heading* 45° Kondisi Tertambat



**Gambar 4.32** Grafik Respon Gerakan Translasi *Heading* 90° Kondisi Tertambat



**Gambar 4.33** Grafik Respon Gerakan Rotasi *Heading* 90° Kondisi Tertambat

**Tabel 4.8** Nilai Respon Struktur Tertinggi pada struktur *SeaStation Offshore Aquaculture* kondisi tertambat

Heading	Gerakan Translasi			Grakan Rotasi		
	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
	m <sup>2</sup> /(rad/s)			deg <sup>2</sup> /(rad/s)		
0	1.24	0.07	0.04	1.84	2.18	0.22
45 <sup>0</sup>	0.63	0.61	0.04	3.12	0.99	0.27
90 <sup>0</sup>	0.08	1.24	0.04	2.21	1.94	0.24

Dari **Gambar 4.28** sampai dengan **Gambar 4.33** dan **Tabel 4.8** maka dapat disimpulkan bahwa respon struktur *SeaStation Offshore Aquaculture* kondisi tertambat (gelombang 100 tahunan) di perairan Laut Selatan untuk gerakan *surge* terjadi paling besar akibat *heading* 0° yaitu dengan nilai  $S_{\phi}(\omega_e)_{surge} = 1.24 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ . Respon struktur untuk gerakan *sway* terjadi paling besar akibat *heading* 90°, yaitu dengan nilai  $S_{\phi}(\omega_e)_{sway} = 1.24 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ . Respon struktur untuk gerakan *heave* terjadi disemua *heading* yaitu dengan nilai  $S_{\phi}(\omega_e)_{heave} = 0.04 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ . Respon struktur untuk gerakan *roll* terjadi paling besar akibat *heading* 45°, yaitu dengan nilai  $S_{\phi}(\omega_e)_{roll} = 3.12 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Respon struktur untuk gerakan *pitch* terjadi paling besar akibat *heading* 0°, yaitu dengan nilai  $S_{\phi}(\omega_e)_{pitch} = 2.18 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ . Respon struktur untuk gerakan *yaw* terjadi paling besar akibat *heading* 45° yaitu dengan nilai yang hampir sama yaitu  $S_{\phi}(\omega_e)_{yaw} = 0.27 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ .

#### 4.6 Analisis Tension pada *Mooring Line*

Analisis *tension mooring line* pada struktur *SeaStation* pada saat tertambat dengan *buoy* dilakukan untuk mendapatkan tegangan terbesar pada *mooring line* sebagai *input* pada pemodelan selanjutnya. Analisis *tension* dilakukan dengan bantuan *software* ANSYS AQWA dengan simulasi *time domain analysis* pada kondisi operasional. Untuk menghasilkan *tension* maksimum pada line diperlukan simulasi selama 3 jam (10800 s) sesuai anjuran dari DNV E301 (2004).

Setelah didapatkan *tension* maksimum, perlu dilakukan cek *safety factor*. ABS menyatakan bahwa suatu *mooring line* dalam kasus ini adalah *mooring line* dianggap memenuhi standar keamanan jika hasil perbandingan *Minimum Breaking Load* dengan *tension* yang didapatkan dari hasil simulasi tersebut harus lebih besar dari ketentuan ABS, yaitu 1,67.

Sebelumnya terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai *tension* maksimum yang diijinkan oleh ABS. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Safety factor} &= \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}} \\ 1,67 &= \frac{2231000}{\text{Maximum Tension}} \\ \text{Maximum Tension} &= \frac{2231000}{1,67} \\ &= 1335928.144 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk arah pembebanan gelombang terhadap *heading* struktur dilakukan dalam lima arah, yaitu 0, 45, dan 90. Setelah dilakukan simulasi dengan *software* ANSYS Aqwa selama 10800 detik (3jam) didapatkan *tension* pada *mooring line* maksimum dan minimum pada setiap sudut pembebanan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.9 di bawah ini.

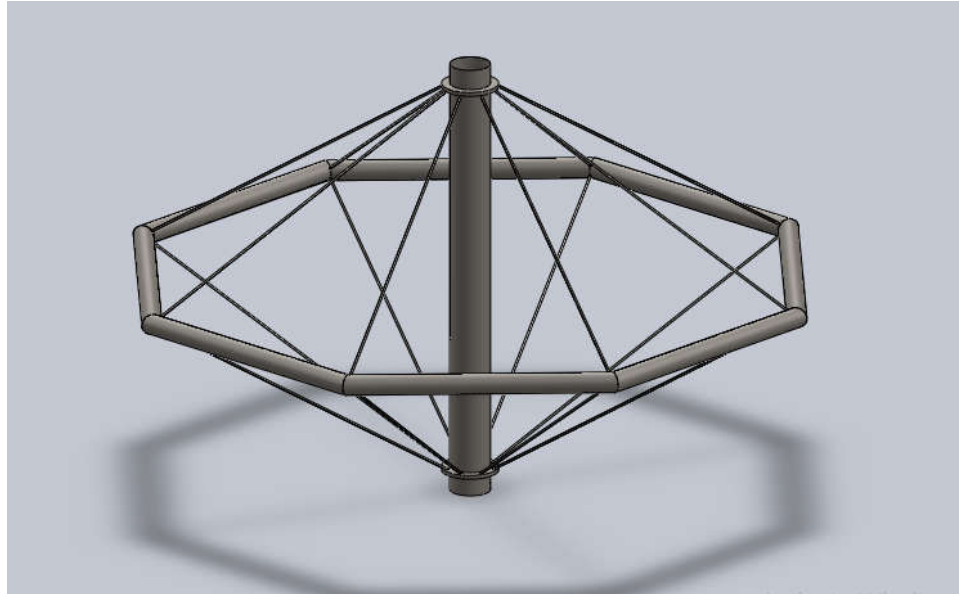
**Tabel 4.9** Analisis *tension* maksimum pada *mooring line* saat tertambat dengan *SeaStation* kondisi operasional berdasarkan *time domain analysis*

Heading	Time (s)	Cable Force (N)		SF
0	9235.8	Cable 1	94167.60	23.69
		Cable 2	6837.30	326.30
		Cable 3	9987.20	223.39
		Cable 4	75045.00	29.73
		Cable 5	8658.00	257.68
		Cable 6	61167.00	36.47
		Cable 7	14091.00	158.33
		Cable 8	7071.73	315.48
45	5740.4	Cable 1	73750.00	30.25
		Cable 2	979319.00	2.28
		Cable 3	159781.00	13.96
		Cable 4	9915.80	224.99
		Cable 5	29587.00	75.40
		Cable 6	24765.00	90.09
		Cable 7	290606.00	7.68
		Cable 8	33832.00	65.94
		Cable 8	7601.00	293.51
90	6607.2	Cable 1	8973.16	248.63
		Cable 2	70165.39	31.80
		Cable 3	7071.73	315.48
		Cable 4	40186.18	55.52
		Cable 5	13893.81	160.58
		Cable 6	69413.76	32.14
		Cable 7	100238.50	22.26
		Cable 8	7660.50	291.23

#### 4.7 Pemodelan *Solid Body* pada Struktur *SeaStation*

Pemodelan struktur *SeaStation* dilakukan menggunakan bantuan *software Solidworks* dan detail dari struktur *SeaStation* itu sendiri

(Gambar 4.34). Untuk analisis global, struktur *SeaStation* yang dimodelkan dan dianalisis terdiri dari struktur utama, ring yang menghubungkan ropedengan *steel rim* beserta *rope-rope* yang ada pada struktur.



**Gambar 4.34** Pemodelan Struktur *SeaStation* menggunakan *software* Solidworks

#### 4.7.1 Pembebanan pada Struktur *SeaStation*

Pembebanan yang di *input* adalah *tension* pada *mooring line*, dan gaya-gaya yang mengenai struktur (*structure force*). Adapun gaya yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.10** Pembebanan Struktur pada *Heading 0°*

Heading	Time (s)	Cable Force (N)		Structure Force (N)		
0	9235.8	Cable 1	94167.60	Force	X	-41729.18
		Cable 2	6837.30		Y	-16749.81
		Cable 3	9987.20		Z	-82503.69
		Cable 4	75045.00	Moment	RX	3333.03
		Cable 5	8658.00		RY	-1632.69
		Cable 6	61167.00		RZ	-3138.36
		Cable 7	14091.00			
		Cable 8	94167.60			



**Tabel 4.11** Pembebanan Struktur pada *Heading* 45°

Heading	Time (s)	Cable Force (N)		Structure Force (N)		
45	5740.4	Cable 1	73750.00	Force	X	-37633.07
		Cable 2	979319.00		Y	6814.03
		Cable 3	159781.00		Z	-76809.35
		Cable 4	9915.80	Moment	RX	-670.13
		Cable 5	29587.00		RY	-3975.23
		Cable 6	24765.00		RZ	-234.76
		Cable 7	290606.00			
		Cable 8	33832.00			

**Tabel 4.12** Pembebanan Struktur pada *Heading* 90°

Heading	Time (s)	Cable Force (N)		Structure Force (N)		
90	6607.2	Cable 1	8973.16	Force	X	39832.59
		Cable 2	70165.39		Y	77374.67
		Cable 3	7071.73		Z	-94019.20
		Cable 4	40186.18	Moment	RX	-7702.87
		Cable 5	13893.81		RY	-14246.65
		Cable 6	69413.76		RZ	-22159.19
		Cable 7	100238.50			
		Cable 8	7660.50			

#### 4.7.2 Meshing

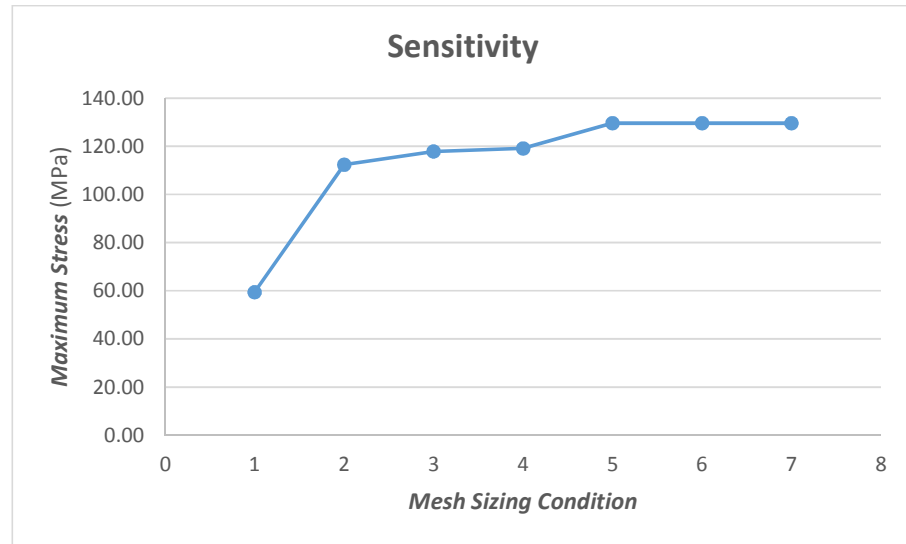
Setelah pemodelan *Solidbody* dilakukan, analisis selanjutnya adalah melakukan *meshing*. *Meshing* merupakan pembagian model struktur menjadi elemen-elemen kecil sesuai dengan ukuran pembagi yang diinginkan. *Meshing* disini berfungsi sebagai tempat distribusi tegangan pada elemen-elemen kecil tersebut. Ukuran *meshing* yang semakin kecil menyebabkan distribusi tegangan akan semakin baik dimana hasil yang didapatkan juga akan lebih valid.

*Sensitivity analysis* perlu dilakukan untuk memastikan bahwa tegangan yg terjadi pada hasil luaran analisis telah benar dan mendekati nilai kebenaran. Dalam tugas akhir ini, uji sensitivitas dilakukan melalui variasi kerapatan dalam *meshing*. Berdasarkan variasi kerapatan *meshing* yang telah diuji, maka didapatkan hasil *Von Mises stress*.

Berdasarkan variasi *meshing* yang dilakukan, didapatkan tabulasi *meshing* dan *maximum principal stress* yang dihasilkan pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.35 sebagai berikut:

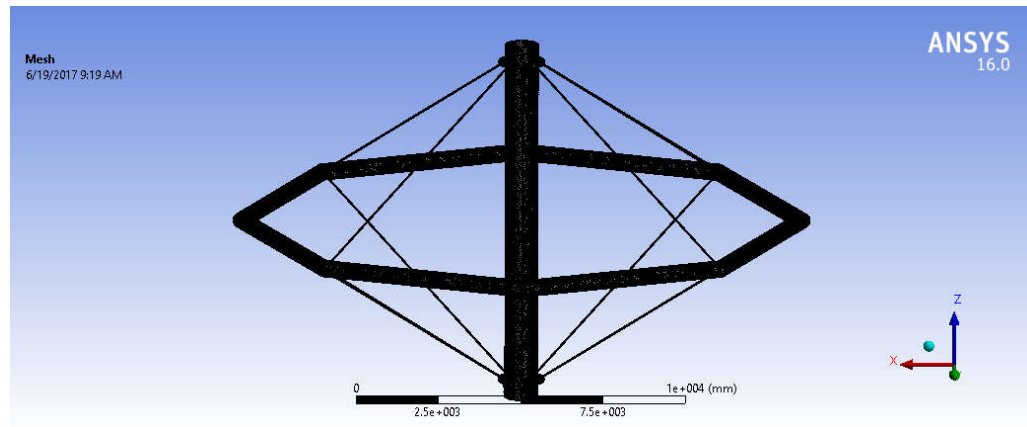
**Tabel 4.13** Tabulasi hasil *Von Mises Stress* untuk variasi kerapatan *meshing*

Kondisi	Ukuran (m)	<i>Nodes</i>	<i>Element</i>	Tegangan (MPa)
1	0.15	447186	230172	59.41
2	0.10	500630	257099	112.42
3	0.09	534194	273082	117.93
4	0.08	586108	298646	119.11
5	0.07	665060	338164	129.62
6	0.06	784920	398199	129.62
7	0.05	1000197	506713	129.62

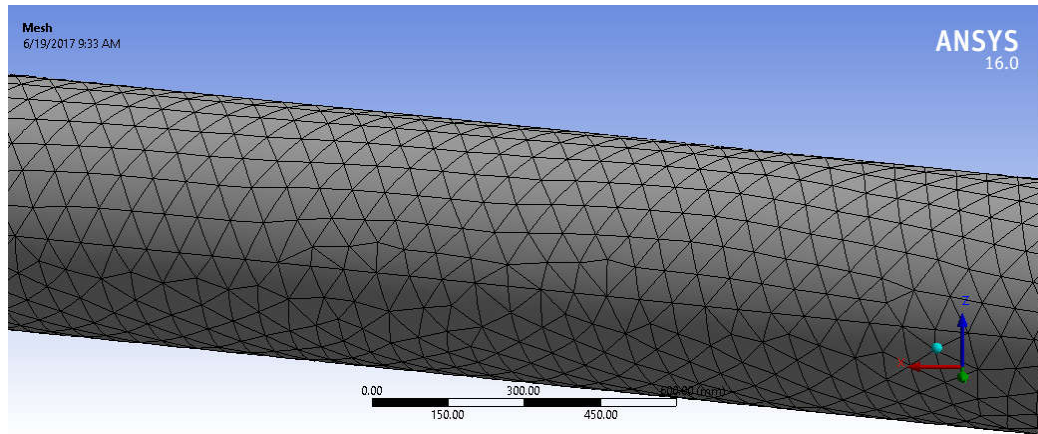


**Gambar 4.35** Sensitivitas *meshing* model struktur *SeaStation*

Berdasarkan Tabel dan grafik pada Gambar dapat disimpulkan bahwa struktur *SeaStation* dapat dengan baik dimodelkan pada ukuran *mesh* 0.05 mm, karena nilai keluaran *stress* tidak mengalami perubahan (konstan).



**Gambar 4.36** Model Elemen *Meshing* Struktur *SeaStation*



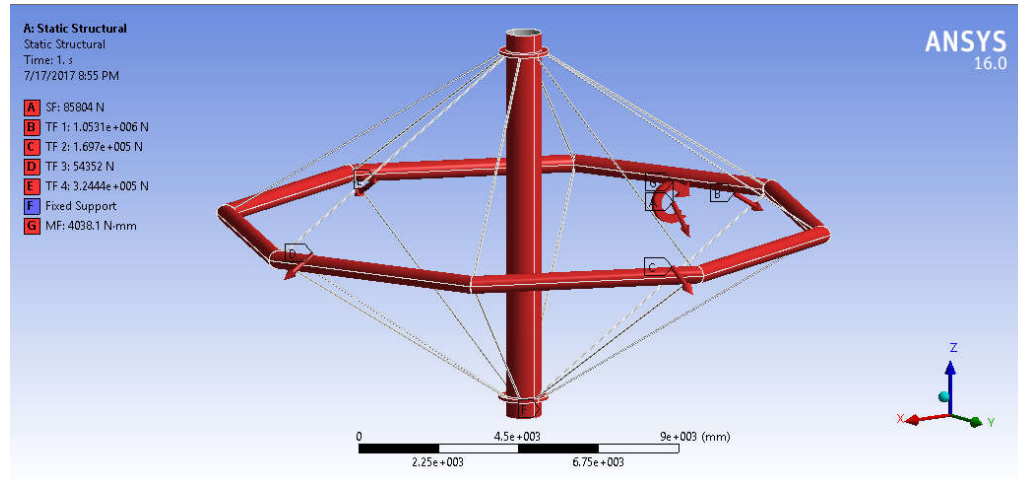
**Gambar 4.37** Elemen *Meshing* Struktur *SeaStation*

**Tabel 4.14** Detail Elemen *Meshing* Struktur *SeaStation*

Details of "Mesh"	
Use Advanced Si...	On: Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Nor...	50.0 °
<input type="checkbox"/> Min Size	10.0 mm
<input type="checkbox"/> Max Face Size	70.0 mm
<input type="checkbox"/> Max Size	300.0 mm
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.850 )
Minimum Edge L...	3.01260 mm

#### 4.8 Analisis Tegangan Global Struktur *SeaStation*

Analisis Tegangan Global dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada struktur apabila dikenai beban operasi. Beban ini berupa tension pada mooring line dan gaya lingkungan yang mengenai struktur *SeaStation*. Pada Gambar 4.38 di bawah ini adalah kondisi pembebanan yang bekerja pada stuktur *SeaStation*.



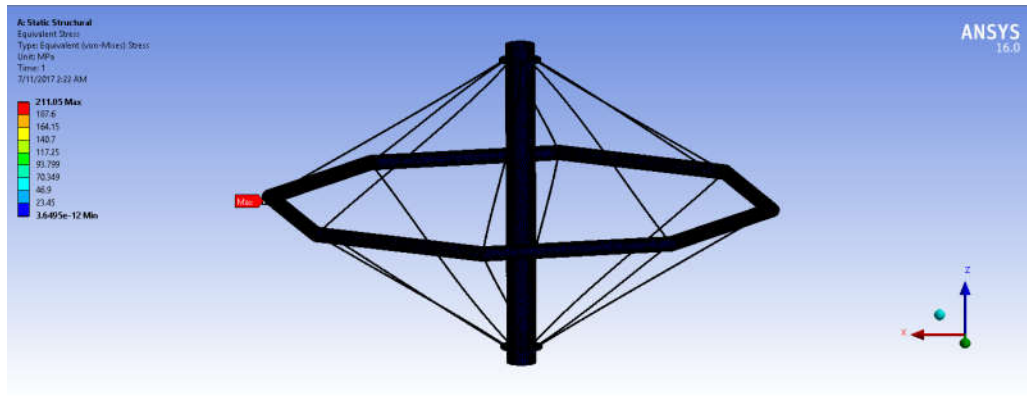
**Gambar 4.38** Pembebanan pada Struktur *SeaStation* pada heading 45°

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa untuk kondisi pembebanan dengan heading tertentu, tegangan tertinggi dan deformasi yang terjadi pada struktur *SeaStation* heading 45° dengan  $T = 5740.4s$  saat kondisi operasi. Untuk penjabaran hasil tegangan tertinggi dan deformasi yang terjadi di kedua kondisi tersebut diuraikan pada gambar berikut.

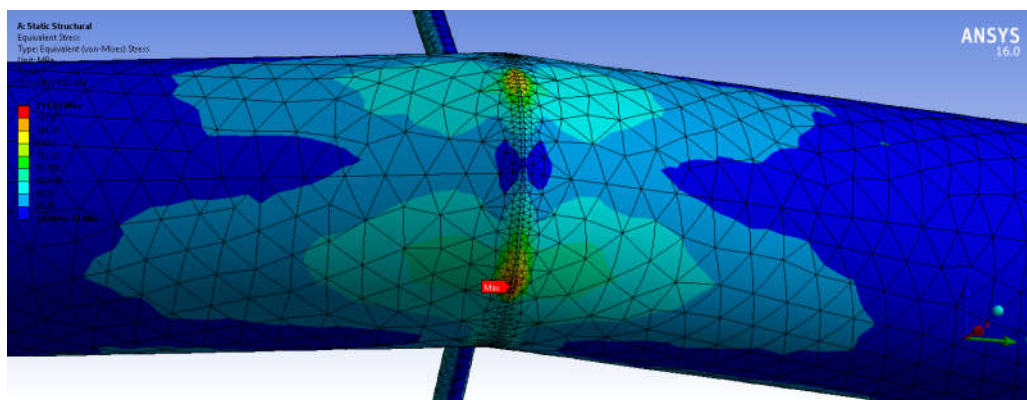
**Tabel 4.15** Hasil Analisis global Struktur *SeaStation*

Heading	Von Mises Stress (MPa)	
0 derajat	Max	200.188
45 derajat	Max	211.051
90 derajat	Max	153.32

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa untuk kondisi pembebanan yang sebelumnya diuraikan pada Tabel 4.10 – Tabel 4.12. Untuk penjabaran hasil tegangan tertinggi yang terjadi pada kondisi tersebut diuraikan pada Gambar 4.39 – 4.40.



**Gambar 4.39** Hasil *Von Mises Stress* untuk pembebanan pada *heading* 45° sebesar 211.05 MPa



**Gambar 4.40** Detail Hasil *Von Mises Stress* untuk pembebanan pada *heading* 45° sebesar 211.05 MPa

Menurut ABS struktur dikatakan aman jika tegangan yang terjadi tidak melebihi 90% *yield strength* material yang digunakan. Pada analisis ini material yang digunakan adalah Baja ASTM A36 dengan *yield strength* sebesar 211.05 MPa, sehingga 90% dari *yield strength* Baja ASTM A36 adalah 225 Mpa. Dapat dilihat dari hasil analisis di atas, tegangan maksimum pada struktur *SeaStation* tidak melebihi 225 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur *SeaStation* aman beroperasi.

#### 4.9 Analisis Umur Kelelahan pada struktur *SeaStation*

Data lingkungan yang dipakai meliputi data gelombang 1 tahunan, yang akan digunakan dalam perhitungan pembebanan dari beban lingkungan selama operasi. Dari tinjauan wilayah operasinya, data-data tersebut adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.16** Data Gelombang 1 tahunan Laut Timor (Foster, 2009)

Hi(m)	Ti (s)	Cycle
0.0-0.5	3.5	3761605
0.5-1.0	4.2	2846859
1.0-1.5	4.6	929956
1.5-2.0	4.9	234490
2.0-2.5	5.1	69334
2.5-3.0	5.3	26974
3.0-3.5	5.5	11108
3.5-4.0	5.6	4762
4.0-4.5	5.8	1711

Perhitungan kelelahan dilakukan dengan metode deterministik, yaitu dengan meninjau rasio kerusakan komulatif (D) akibat beban yang diterima struktur. Jumlah siklus rentang tegangan ( $N_i$ ) dengan harga  $S_i$  yang menyebabkan kegagalan sambungan dapat diperoleh dengan menggunakan kurva S-N dengan jenis sambungan yang sesuai jenis sambungan adalah tipe sambungan B1. Dimana variable A merupakan intersepsi sumbu log, sedangkan m adalah kemiringan sumbu S-N.

Dengan nilai  $n_i$  yang merupakan jumlah kejadian gelombang pada data metocean (Tabel 4.15) dan nilai  $S_i$  yang merupakan stress yang terjadi selama 1 tahun yang diperoleh dari ANSYS MECHANICAL.

Maka perhitungan kelelahan akibat beban-beban yang bekerja pada struktur ditampilkan pada **Tabel 4.17** berikut:

**Tabel 4.17** Perhitungan kelelahan pada Struktur *SeaStation*

<b>Hi (m)</b>	<b>Ti (s)</b>	<b>Cycle</b>	<b>Pi</b>	<b>Si (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ni</b>	<b>Pi/(NixTi)</b>
0.0-0.5	3.5	3761605	0.4769	11.53	7.06E+08	1.958E-10
0.5-1.0	4.2	2846859	0.3610	32.67	4.30E+08	1.997E-10
1.0-1.5	4.6	929956	0.1179	67.00	1.00E+08	2.558E-10
1.5-2.0	4.9	234490	0.0297	87.01	2.80E+07	2.167E-10
2.0-2.5	5.1	69334	0.0088	91.61	2.20E+07	7.789E-11
2.5-3.0	5.3	26974	0.0034	115.60	1.20E+07	5.357E-11
3.0-3.5	5.5	11108	0.0014	137.95	4.00E+06	6.425E-11
3.5-4.0	5.6	4762	0.0006	156.81	2.40E+06	4.477E-11
4.0-4.5	5.8	1711	0.0002	170.50	1.60E+06	2.358E-11
<b>Total</b>						1.132E-09
<b>T (sec)</b>						883295743
<b>T (year)</b>						<b>28.01</b>

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa kerusakan kumulatif akibat beban gelombang adalah sebesar  $1,13 \times 10^{-9}$  dengan batas *cumulative damage* yang diizinkan adalah kurang dari 1. Untuk perhitungan kelelahan struktur dapat dilakukan dengan rumus  $T = D \sum_{i=1}^m \frac{N_i T_i}{P_i}$ . Umur kelelahan struktur tersebut adalah:  $\frac{1}{1,13 \times 10^{-9}} = 883295743 \text{ det}$  kemudian dikonversi dalam tahun. Sehingga struktur tersebut dapat dikatakan aman dengan umur kelelahan 28 tahun.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari pengerjaan Tugas Akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsep model *aquaculture* yang digunakan adalah *SeaStation Cage Aquaculture* dengan menggunakan pipa baja A36. Adapun dimensi struktur *SeaStation* terdiri dari sebuah *steel tube vertical spar* dengan *outside diameter* sebesar 40 inch dan panjang 11 meter, *steel rim* dengan *outside diameter* sebesar 20 inch dan panjang 52 meter, *rope* sebanyak 16 masing-masing memiliki ukuran yang sama dengan diameter 2 inch dan panjang 9.35 meter, dan *ring* sejumlah 2 dengan *outside diameter* 50 inch. Jaring yang digunakan adalah jaring berbahan *polyethylene* dengan *mesh* 1,25 x 1,25 inch. Adapun massa struktur keseluruhan sebesar 14 ton.
2. Tegangan terbesar akibat kombinasi pembebanan pada struktur *steel rim* adalah 211.05MPa. Nilai tegangan maksimum tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan ijin yang dianjurkan oleh ABS sebesar 225 MPa.
3. Dari hasil perhitungan umur kelelahan struktur, diperoleh hasil bahwa struktur *SeaStation* memiliki harga  $D < 1$  sehingga struktur tersebut dapat dikatakan aman dengan umur kelelahan 28 tahun.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya pemodelan jaring yang tidak hanya mempertimbangkan berat, namun lebih detail dan relevan dengan kondisi sebenarnya.
2. Perhitungan *fatigue life* dapat lebih rinci dilakukan dengan mempertimbangkan faktor korosi dan *fracture*.
3. Analisis lanjutan yang dapat dilakukan yaitu Analisis tegangan lokal pada *pad eye* yang menghubungkan struktur dengan *rope* dan Analisis kelelahan pada *pad eye* yang menghubungkan struktur dengan *rope*.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2003. *Fatigue Assessment for Offshore Structure*, USA: American Bureau of Shipping ABS Plaza.
- Alfredo E. V. 2003. *Design of A Cage Culture System for Farming in Mexico*. Final Project Instituto Tecnológico Del Mar En Mazatlán. Mazatlán, Sinaloa, Mexico.
- Arifannisa, Nabila. 2016. *Analisis Umur Kelelahan Pada Anchor Chain Single Point Mooring 3*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Azkia, Novia. 2016. *Analisis Tegangan Lokal Maksimum Konstruksi SeaStation Pada Sistem Tandem Offloading FSO Arco Ardjuna*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Benetti, D. D. 2010. *Site Selection Criteria for Open Ocean Aquaculture*. The Marine Technology Society Journal. Sustainable U.S. Marine Aquaculture Expansion in the 21st Century.
- Beveridge, M. C. 1996. *Cage Aquaculture*. 2nd ed. Fishing News Books Ltd. Oxford, UK.
- Chakrabarti, S.K., 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. USA: Computational
- D.C.B. Scott and JF Muir. *Offshore Cage System-A Practical Overview*. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling. Scotland, UK.
- DNV GL RP C203. 2014. *Fatigue Design of Offshore Steel Structure*. Norway.
- DNV GL CG 0129. 2015. *Fatigue Assessment of Ship Structure*. Norway.
- Djarmiko, E. B., 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- Foster, E.. 2009. *Final Metocean Design Criteria, Abadi Field Development, in the Timor Sea*.
- Fredheim, Arne. 2012. *Technical Requirements and engineering Standards for Floating Aquaculture Structures*. Centre for research-based innovation in aquaculture technology SINTEF Fisheries and Aquaculture.

- Hafiz, Muhammad. 2015. **Desain Aquaculture dengan Menggunakan Pipa HDPE untuk Budidaya Ikan Baronang**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Ibrahim, Purwaka. 2012. **Analisis Fatigue Pada Yoke Arm External Turret Mooring System Dari FPSO (Floating Production Storage and Offloading)**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Loverich, G. and Goudey, C.A. 1996. **Design 2nd Operation of An Offshore Sea-Farming System**. Open Ocean Aquaculture, Proceedings of an International Conference. Portland, Maine.
- Loverich, G., Swanson, K. and Gace, L. 1996. **Offshore aquaculture harvest and transport concept: Feasibility and development**. Technical Report. Ocean Spar Technologies, LLC.
- Loverich, G. 2010. **A Case Study of an Offshore SeaStation Sea Farm**. The Marine Technology Society Journal. Sustainable U.S. Marine Aquaculture Expansion in the 21st Century.
- Sims, N.A. 2013. **Kona Blue Water Farms Case Study: Permitting, Operations, Marketing, Environmental Impacts, and Impediments to Expansion of Global Open Ocean Mariculture**. Kailua-Kona, HI, United States of America.
- Suyuthi, Abdillah. 2006. **Stabilitas Dinamis Keramba Lepas Pantai Tipe Self Tensioning Structure**. Jurnal Teknologi Kelautan.
- Syaifudin, Mardya. 2015. **Teknik Pemeliharaan Induk Ikan Tuna Sirip Kuning di KJA di BBPPBL Gondol, Provinsi Bali**. Universitas Airlangga, Surabaya.
- Tiao-Jian Xu, Hui-Min Hou, Guo-Hai Dong, Yun-Peng Zhao, Wei-Jun Guo. **Structural Analysis of Float Collar for Metal Fish Cage in Waves**.
- Tyler K. Sclodnick. 2014. **Offshore Aquaculture Economic Modelling and Site Selection Protocols**. University of Miami.

## Rope

OD=	2.000	in	0.051	m	5.08	cm
Thickness=	1.000	in	0.025	m	2.54	cm
d/t<40	2.000					
ID	0.000	in	0.000	m	0.00	cm
Density	7850.000	kg/m <sup>3</sup>				
Panjang	368.307	in	9.355	m	935.50	cm
Volume	$1/4 \times \pi \times (OD^2 - ID^2) \times L =$		0.01895	m <sup>3</sup>		
Volume OD	$1/4 \times \pi \times (OD^2) \times L =$		0.01895	m <sup>3</sup>		
Volume ID	$1/4 \times \pi \times (ID^2) \times L =$		0.00000	m <sup>3</sup>		
Jumlah	16	buah				

## Spar

	NPS40	SCH XS				
OD=	40.000	in	1.016	m	101.60	cm
Thickness=	0.500	in	0.013	m	1.27	cm
ID	39.000	in	0.991	m	99.06	cm
Density	7850.000	kg/m <sup>3</sup>	0.495			
Panjang	433.071	in	11.000	m	1100.00	cm
Volume	$1/4 \times \pi \times (OD^2 - ID^2) \times L =$		0.44989	m <sup>3</sup>		
Volume OD	$1/4 \times \pi \times (OD^2) \times L =$		8.91353	m <sup>3</sup>		
Volume ID	$1/4 \times \pi \times (ID^2) \times L =$		8.46364	m <sup>3</sup>		
Jumlah	1	buah		0.450		

## Steel

**Rim**                      NPS20                      SCH 10

OD=	20.000	in	0.508	m	50.80	cm
Thickness=	0.375	in	0.010	m	0.95	cm
d/t<40	53.333					
ID	19.250	in	0.489	m	48.90	cm
Density	7850.000	kg/m <sup>3</sup>				
Panjang	256.299	in	6.510	m	651.00	cm
Volume	$1/4 \times \pi \times (OD^2 - ID^2) \times L =$		0.09706	m <sup>3</sup>		
Volume OD	$1/4 \times \pi \times (OD^2) \times L =$		1.31880	m <sup>3</sup>		
Volume ID	$1/4 \times \pi \times (ID^2) \times L =$		1.22174	m <sup>3</sup>	0.09706	
Jumlah	8	buah				

## Ring

OD=	50.000	in	1.270	m	127.00	cm
Thickness=	5.000	in	0.127	m	12.70	cm
d/t<40	10.000					
ID	40.000	in	1.016	m	101.60	cm
Density	7850.000	kg/m <sup>3</sup>				
Panjang	3.937	in	0.100	m	10.00	cm
Volume	$1/4 \times \pi \times (OD^2 - ID^2) \times L =$		0.04558	m <sup>3</sup>		
Volume OD	$1/4 \times \pi \times (OD^2) \times L =$		0.12661	m <sup>3</sup>		
Volume ID	$1/4 \times \pi \times (ID^2) \times L =$		0.08103	m <sup>3</sup>		
Jumlah	2	buah				

## GAYA BERAT

Rope

Volume	0.01895	m <sup>3</sup>		
Pipe Density	7850.000	kg/m <sup>3</sup>		
Jumlah	16			
Gaya Berat	v <sub>x</sub> p <sub>xn</sub>		2380.294	kg
			2.380	Ton

Spar

Volume	0.44989	m <sup>3</sup>		
Pipe Density	7850.000	kg/m <sup>3</sup>		
Jumlah	1			
Gaya Berat	v <sub>x</sub> p <sub>xn</sub>		3531.625	kg
			3.532	Ton

Steel Rim

Volume	0.09706	m <sup>3</sup>		
Pipe Density	7850.000	kg/m <sup>3</sup>		
Jumlah	8			
Gaya Berat	v <sub>x</sub> p <sub>xn</sub>		6095.069	kg
			6.095	Ton

Ring

Volume	0.04558	m <sup>3</sup>		
Pipe Density	7850.000	kg/m <sup>3</sup>		
Jumlah	2			
Gaya Berat	v <sub>x</sub> p <sub>xn</sub>		715.615	kg
			0.716	Ton

TOTAL BERAT	12722.602	kg		
	12.723	ton		

## BUOYANCY

Rope

Volume	0.01895	m <sup>3</sup>		
Water Density	1025	kg/m <sup>3</sup>		
Jumlah	16			
Buoyancy	v <sub>x</sub> p <sub>seaxn</sub>		310.803	kg
			0.311	ton

### Spar

Volume	4.05160	m <sup>3</sup>	
Water Density	1025	kg/m <sup>3</sup>	
Jumlah	1		
Buoyancy	vxpseaxn	3058.041	kg
		3.058	ton

### Steel Rim

Volume	1.31880	m <sup>3</sup>	
Water Density	1025	kg/m <sup>3</sup>	
Jumlah	8		
Buoyancy	vxpseaxn	10814.138	kg
		10.814	ton

### Ring

Volume	0.12661	m <sup>3</sup>	
Water Density	1025	kg/m <sup>3</sup>	
Jumlah	2		
Buoyancy	vxpseaxn	259.556	kg
		0.260	ton

TOTAL BUOYANCY	14230.821	kg
	14.231	Ton

### Total Berat


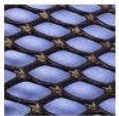



Live Load	0.200	ton
Dead Load	0.303	ton
Feed Load	1.000	ton
Structure Load	12.723	ton
	14.225	ton

check

$$\begin{array}{rcl} \text{TOTAL BERAT} & = & \text{TOTAL BUOYANCY} \\ 14.225 & = & 14.231 \end{array}$$

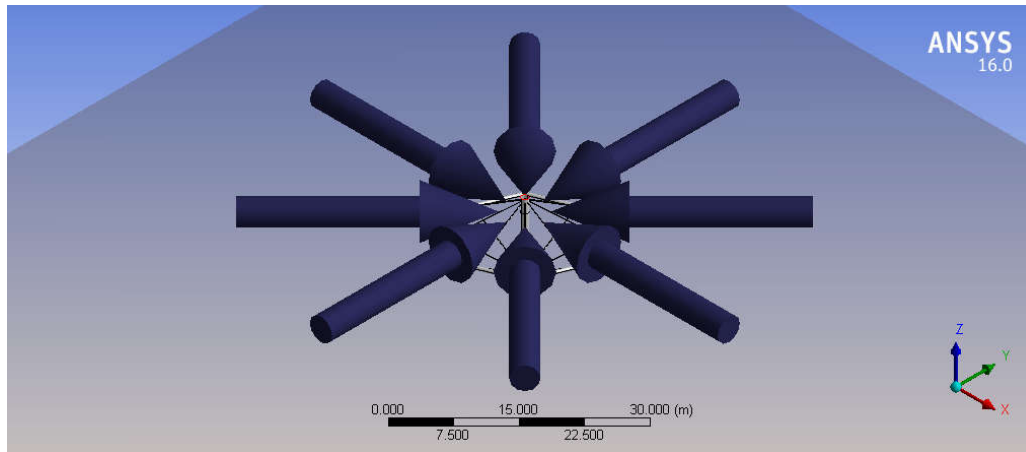
jadinya W=B ketika struktur tecelup **8.1** meter



	PRODUCT:	HOLE SIZE (IN)	ROLL WIDTH (IN)	ROLL LENGTH (FT)	PMSF (LBS/1000 SQ FT)
	<a href="#">XV1020</a>	0.50 x 0.50	48	500	110
	PRODUCT:	HOLE SIZE (IN)	ROLL WIDTH (IN)	ROLL LENGTH (FT)	PMSF (LBS/1000 SQ FT)
	<a href="#">XB1132</a>	0.50 x 0.50	48	500	121
	PRODUCT:	HOLE SIZE (IN)	ROLL WIDTH (IN)	ROLL LENGTH (FT)	PMSF (LBS/1000 SQ FT)
	<a href="#">XV0350</a>	0.75 x 0.75	48	500	100
	PRODUCT:	HOLE SIZE (IN)	ROLL WIDTH (IN)	ROLL LENGTH (FT)	PMSF (LBS/1000 SQ FT)
	<a href="#">XB1135</a>	0.75 x 0.75	48	500	110
	PRODUCT:	HOLE SIZE (IN)	ROLL WIDTH (IN)	ROLL LENGTH (FT)	PMSF (LBS/1000 SQ FT)
	<a href="#">XB1133</a>	1.25 x 1.25	48	500	120

Luas selimut limas 8				
$L_s = 1/2 \cdot n \cdot s \cdot h$				
n	=	8	m	
s	=	6.51	m	
h	=	9.92	m	
Ls	=	258.317	m <sup>2</sup>	
Total Selimut	=	516.634	m <sup>2</sup>	
		5560.992	ft <sup>2</sup>	
Berat Jaring per ft <sup>2</sup>	=	0.12	lbs/ft <sup>2</sup>	
		667.319	lbs	
		0.303	ton	
width	36	ft	36.000	ft
length	500	ft	250.000	ft
	18000	ft <sup>2</sup>	9000.000	ft
			0.071	

## Hidroynamics Diffraction and Response Output



### Properties Stuktur Sea Station

#### Model (A3, B3) > Geometry > Part

Object Name	Part
State	Fully Defined
<b>Details of Part</b>	
Part Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed
Total Structural Mass	15110.65 kg
X Position of COG	0.0 m
Y Position of COG	0.0 m
Z Position of COG	-3.5 m
Generate Internal Lid	No
Current Calculation Depth	0.0 m
<b>Fixity Options</b>	
Structure Fixity	Structure is Free to Move
<b>Force Factors</b>	
Drag Factor	1
Mass Factor	1
Slam Factor	0.0
<b>Advanced Options</b>	
Submerged Structure Detection	Program Controlled
Override Calculated GMX	No
Override Calculated GMY	No
<b>Non-Linear Roll Damping</b>	
Non-Linear Roll Damping	Excluded from Calculations

### Jari-jari girasi struktur

Model (A3, B3) > Geometry > Part > Point Mass

Object Name	<i>Point Mass</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Point Mass</b>	
Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed
X	0.0 m
Y	0.0 m
Z	-3.5 m
Mass Definition	Manual
Mass	15110.65 kg
Define Inertia Values by	via Radius of Gyration
Kxx	5.899466642 m
Kyy	5.899215752 m
Kzz	5.987091898 m
Ixx	525906.630042998 kg.m <sup>2</sup>
Ixy	19.03 kg.m <sup>2</sup>
Ixz	-22.28 kg.m <sup>2</sup>
Iyy	525861.899928642 kg.m <sup>2</sup>
Iyz	-59.65 kg.m <sup>2</sup>
Izz	541645.319985026 kg.m <sup>2</sup>

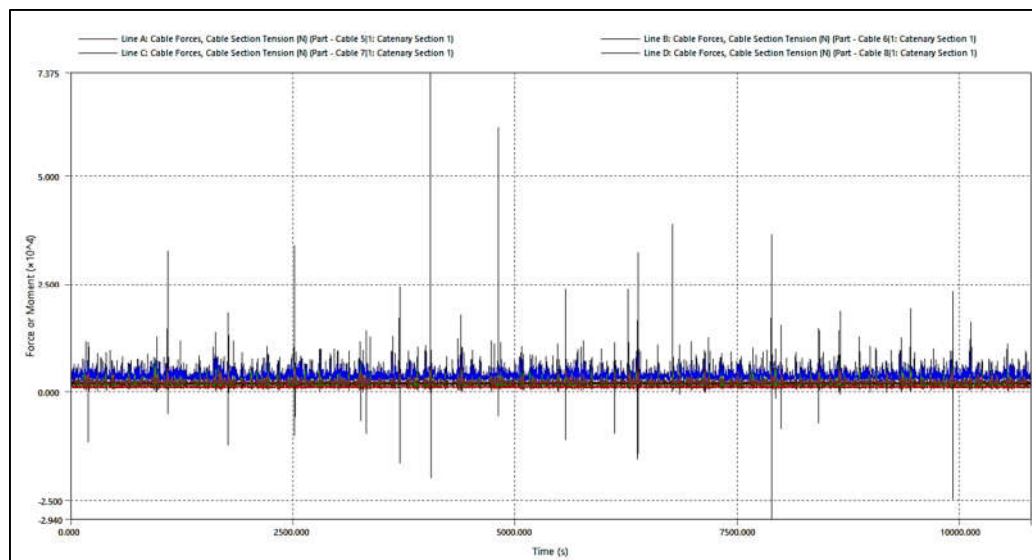
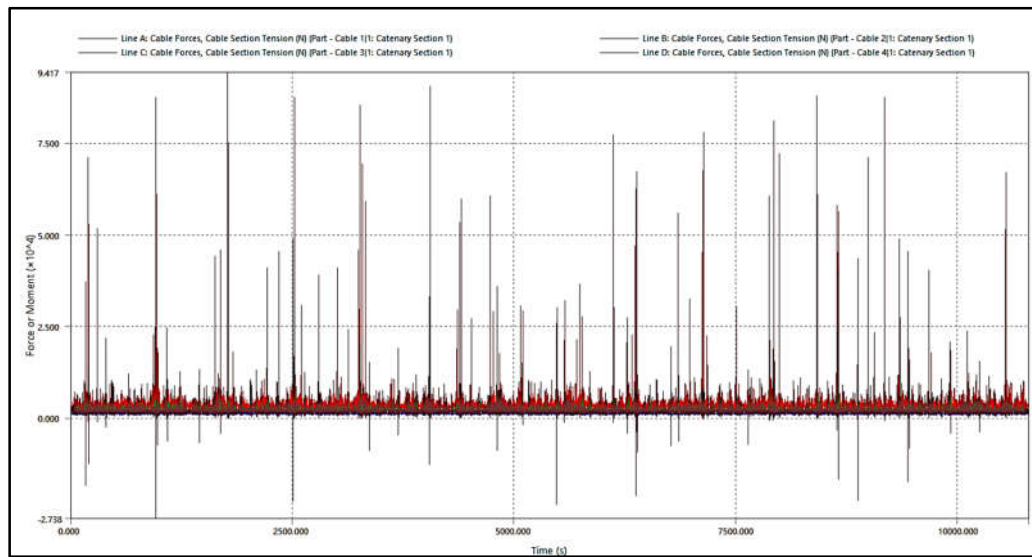
### Properties Mooring Line

Model (A3, B3) > Connections > Catenary Data > Catenary Section

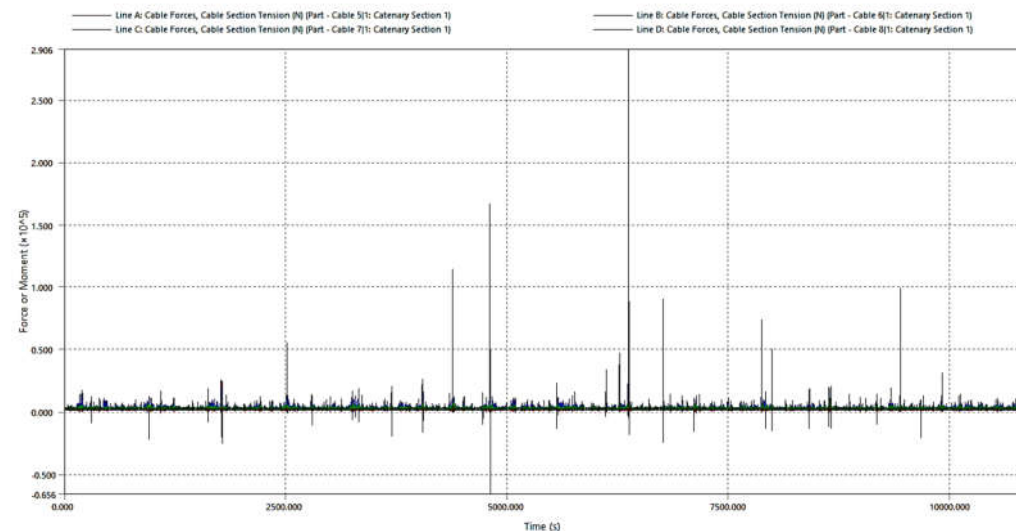
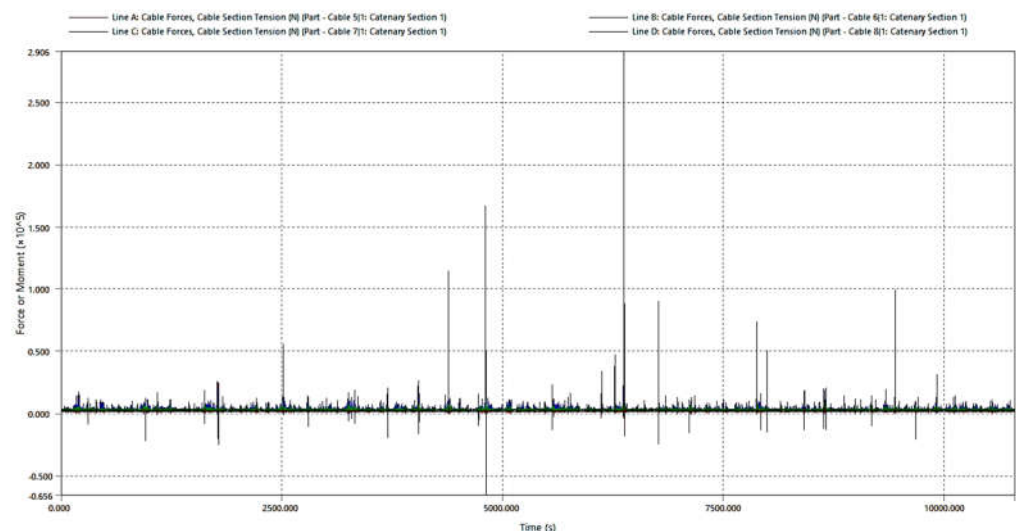
Object Name	<i>Catenary Section 1</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Catenary Section 1</b>	
<b>Section Properties</b>	
Mass/Unit Length	11.5 kg/m
Equivalent Cross-Sectional Area	0.001338 m <sup>2</sup>
Stiffness, EA	140000000 N
Maximum Tension	2231000 N
Bending Stiffness, EI	0.0 N.m <sup>2</sup>
Axial Stiffness Coefficient k1	0.0 N
Axial Stiffness Coefficient k2	0.0 N
Axial Stiffness Coefficient k3	0.0 N
<b>Section Hydrodynamic Properties</b>	
Added Mass Coefficient	1
Transverse Drag Coefficient	1
Equivalent Diameter	0.052 m
Longitudinal Drag Coefficient	0.025

# Hydrodynamic Response

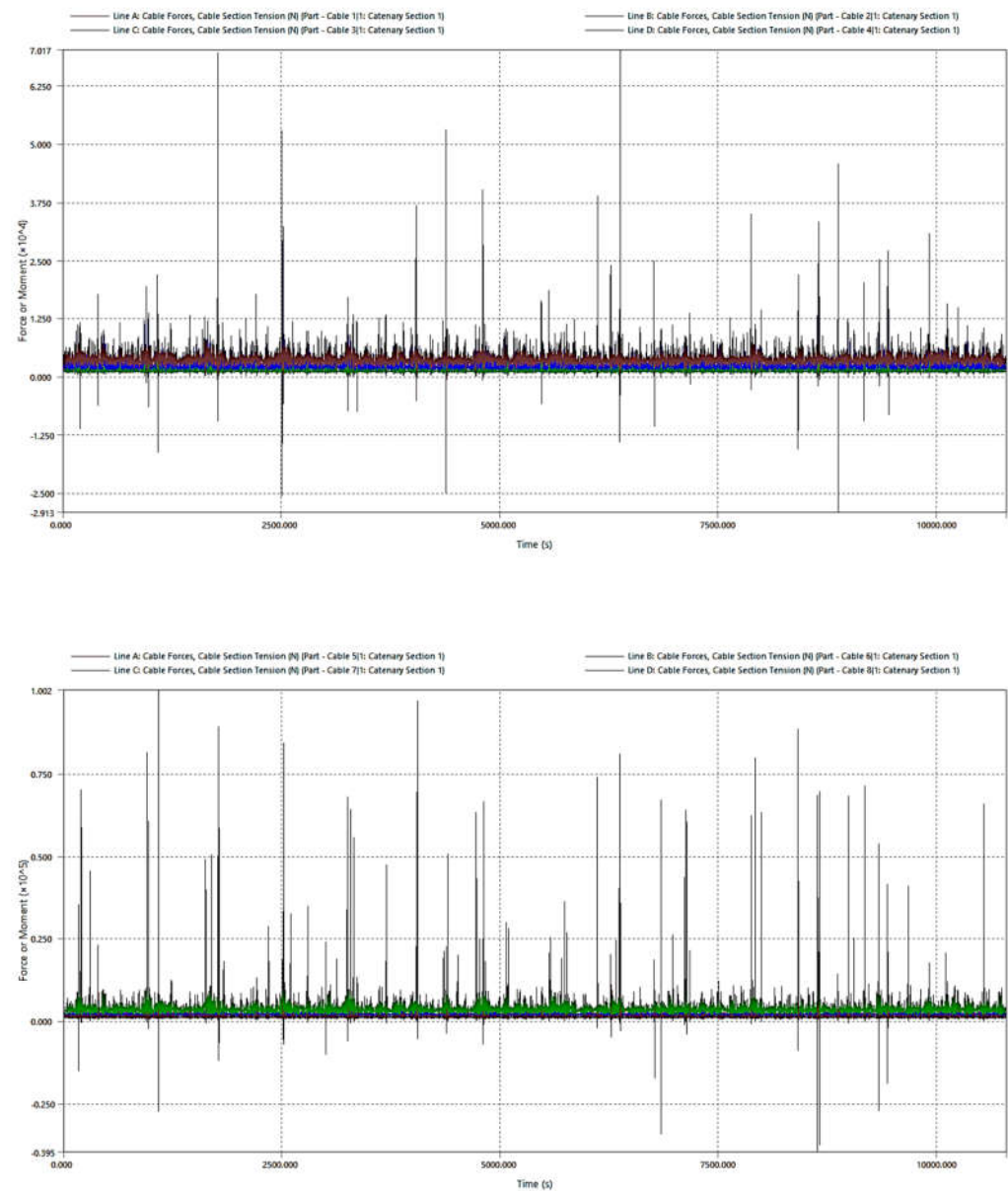
Grafik *Tension heading 0°*



Grafik *Tension heading 45°*



Grafik *Tension heading 90°*



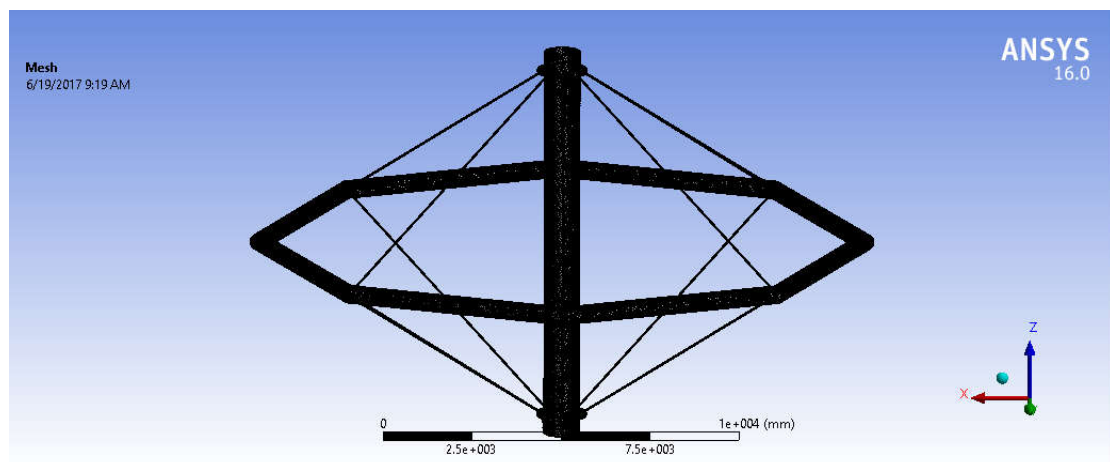
**Model (A4) > Geometry**

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	E:\coba mechanic\Jun Min_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	17540 mm
Length Y	17540 mm
Length Z	11000 mm
<b>Properties</b>	
Volume	1.618e+009 mm <sup>3</sup>
Mass	12701 kg
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	665060
Elements	338164
Mesh Metric	None

<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	17540 mm
Length Y	17540 mm
Length Z	11000 mm
<b>Properties</b>	
Volume	1.618e+009 mm <sup>3</sup>
Mass	12701 kg
Centroid X	5.1664e-002 mm
Centroid Y	-3.6293e-002 mm
Centroid Z	-3500.2 mm
Moment of Inertia Ip1	3.1951e+011 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	3.195e+011 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	4.9126e+011 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	665060
Elements	338164
Mesh Metric	None

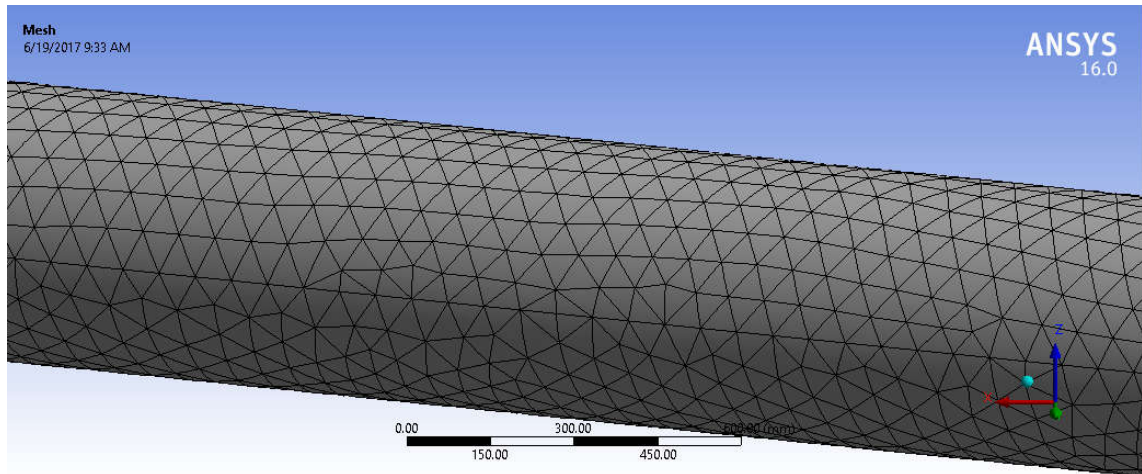
### Model (A4) > Mesh

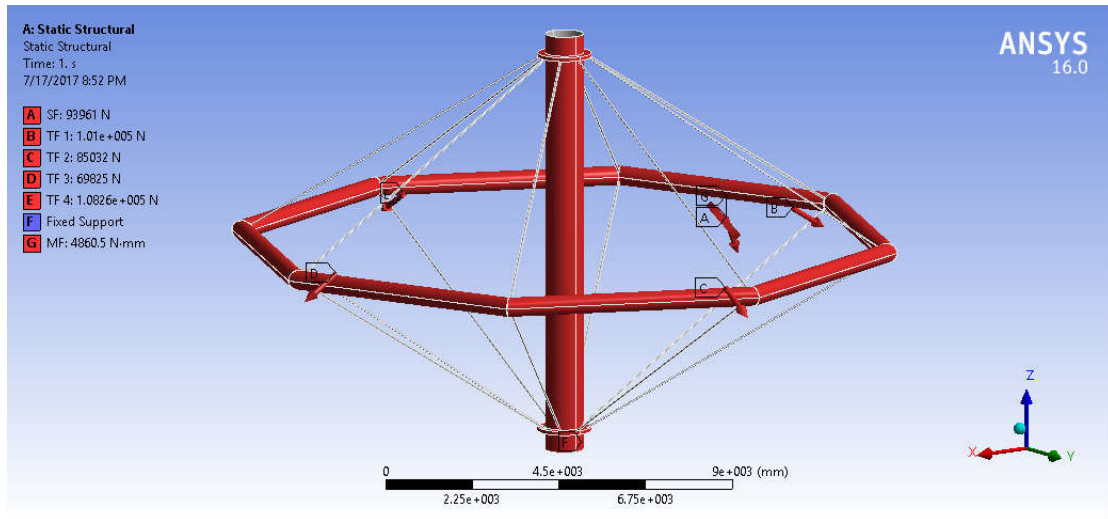
Object Name	Mesh
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Body Color
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Curvature Normal Angle	50.0 °
Min Size	10.0 mm
Max Face Size	70.0 mm
Max Size	300.0 mm
Growth Rate	Default (1.850 )
Minimum Edge Length	3.01260 mm



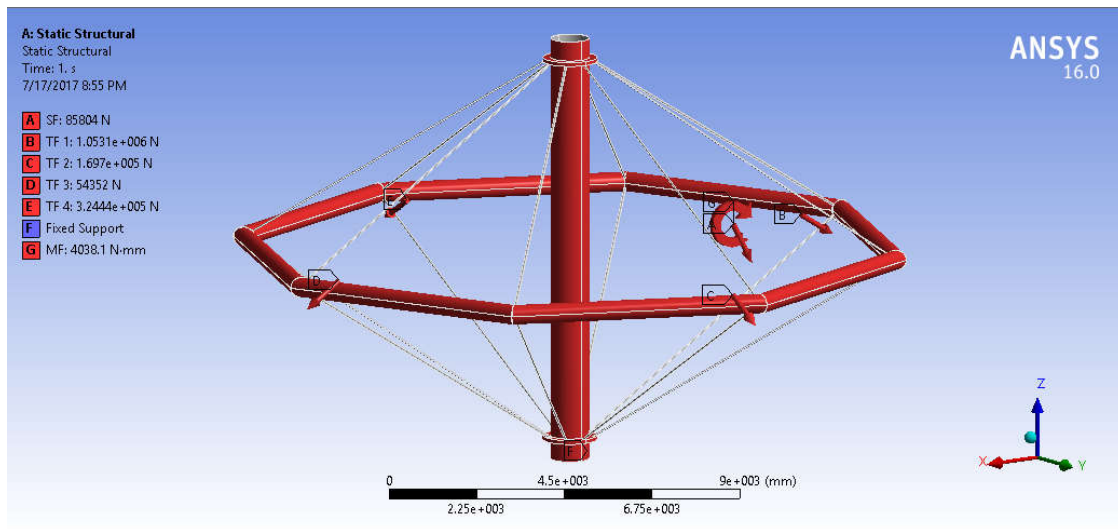


Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Default (9.0 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default (5.0 mm)
Statistics	
Nodes	665060
Elements	338164
Mesh Metric	None

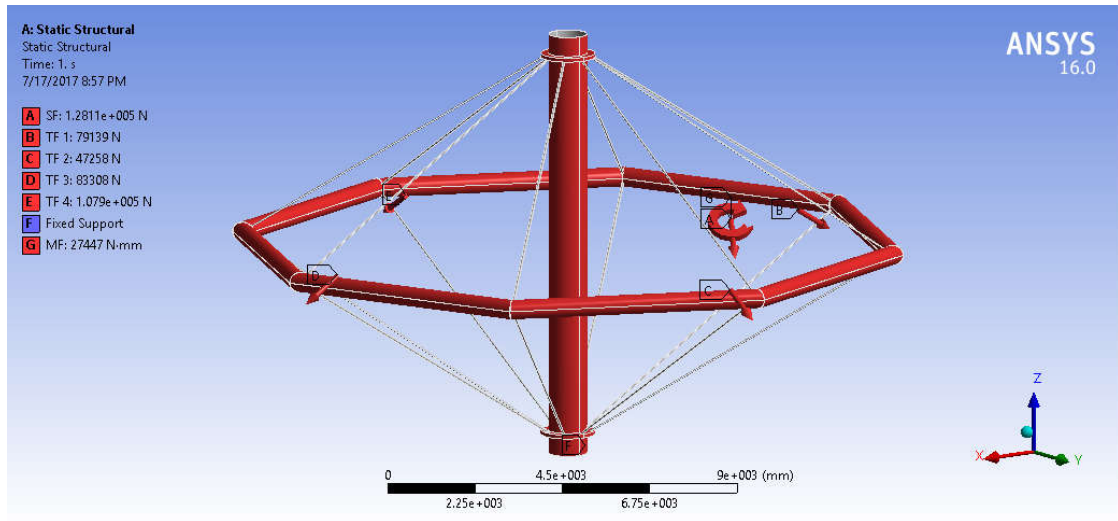




Pembebanan pada Struktur *SeaStation* pada heading 0°



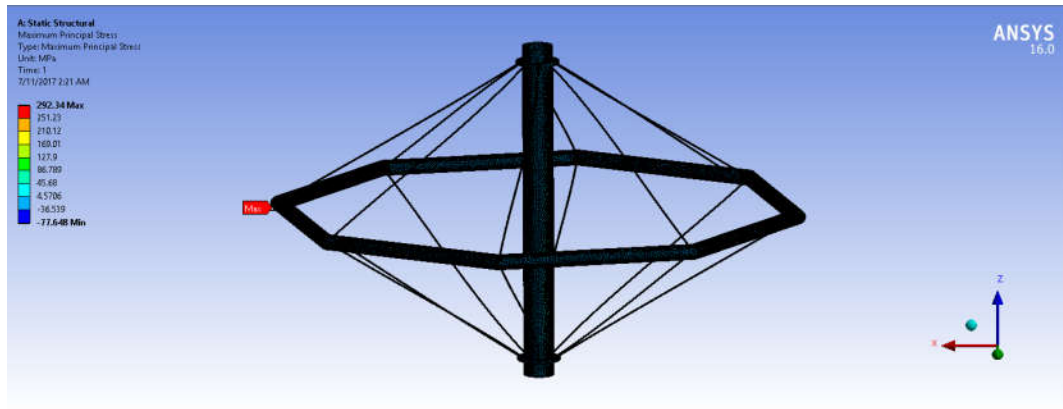
Pembebanan pada Struktur *SeaStation* pada heading 45°



Pembebanan pada Struktur *SeaStation* pada heading 90°

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

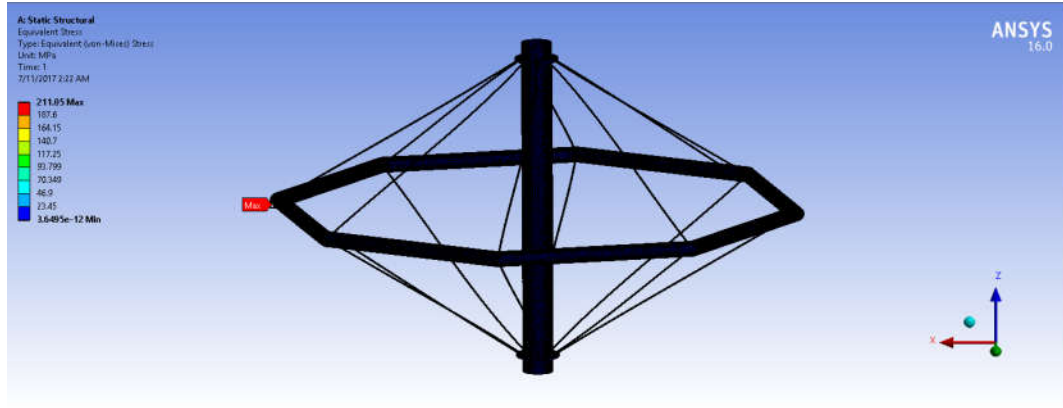
Object Name	Equivalent Stress	Maximum Principal Stress	Total Deformation
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Maximum Principal Stress	Total Deformation
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		
Results			
Minimum	7.1797e-012 MPa	-69.063 MPa	0. mm
Maximum	224.83 MPa	259.33 MPa	790.93 mm
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		



Hasil *Von Mises Stress* untuk pembebanan pada *heading* 0°  
sebesar 200.188 MPa

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	Equivalent Stress	Maximum Principal Stress	Total Deformation
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Maximum Principal Stress	Total Deformation
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		
Results			
Minimum	7.1797e-012 MPa	-69.063 MPa	0. mm
Maximum	224.83 MPa	259.33 MPa	790.93 mm
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		



Hasil *Von Mises Stress* untuk pembebanan pada *heading* 90°  
sebesar 153.32 MPa

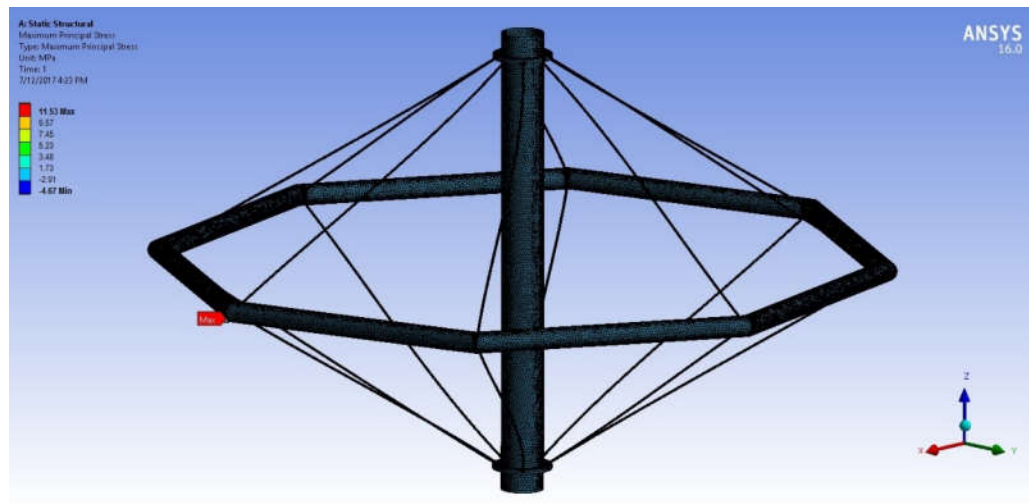
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	Equivalent Stress	Maximum Principal Stress	Total Deformation
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Maximum Principal Stress	Total Deformation
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		
Results			
Minimum	7.1797e-012 MPa	-69.063 MPa	0. mm
Maximum	224.83 MPa	259.33 MPa	790.93 mm
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		

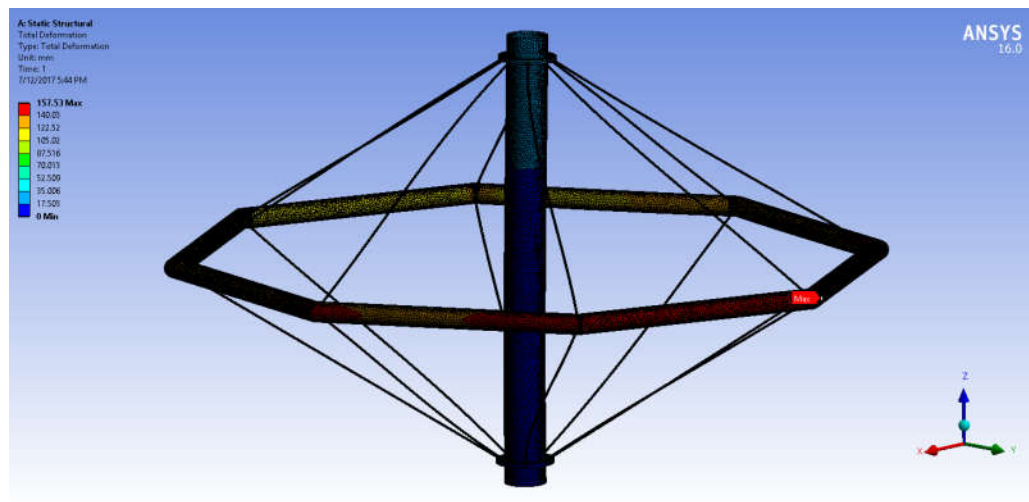
### *Maximum Principal Stress*

H(m)	T(s)
0.0-0.5	3.5

Tegangan: 11.53 MPa

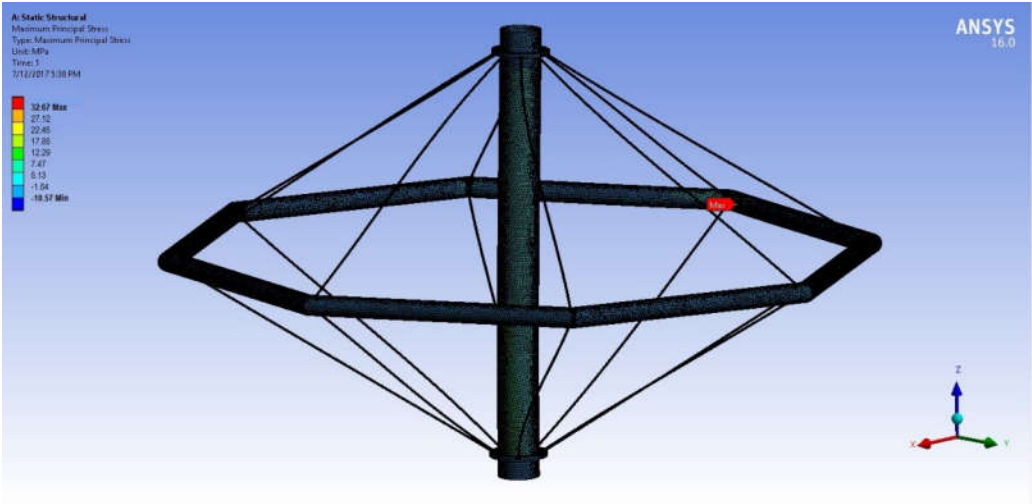


Deformasi: 157.53 mm

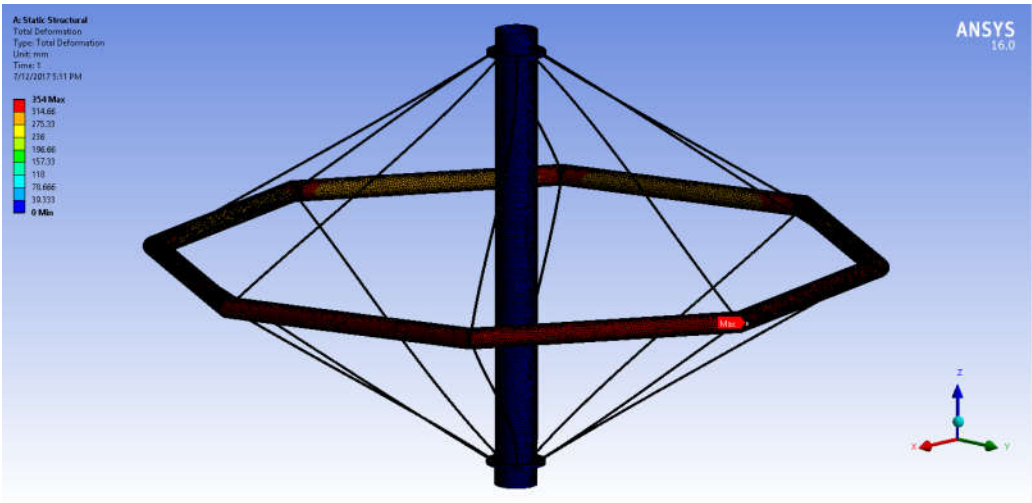


H(m)	T(s)
0.5-1.0	4.2

Tegangan: 32.67 MPa



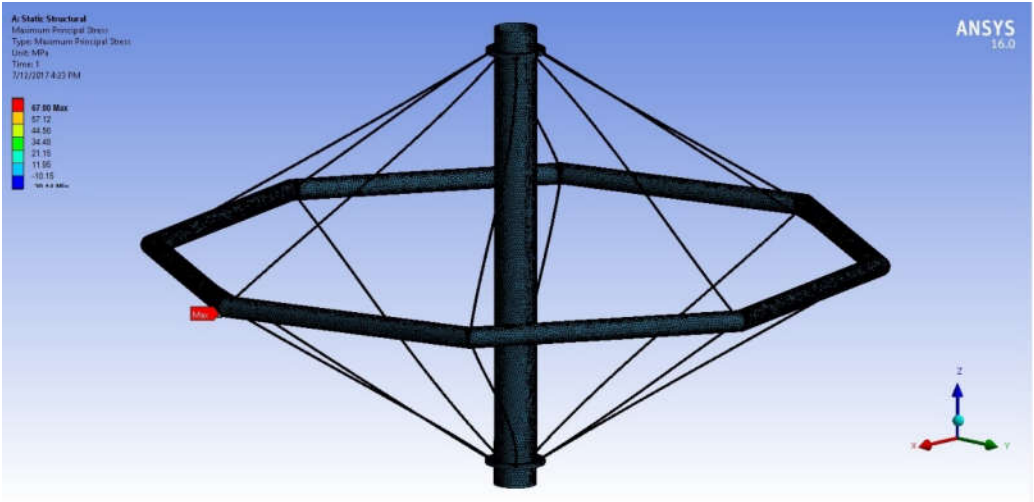
Deformasi: 345 mm



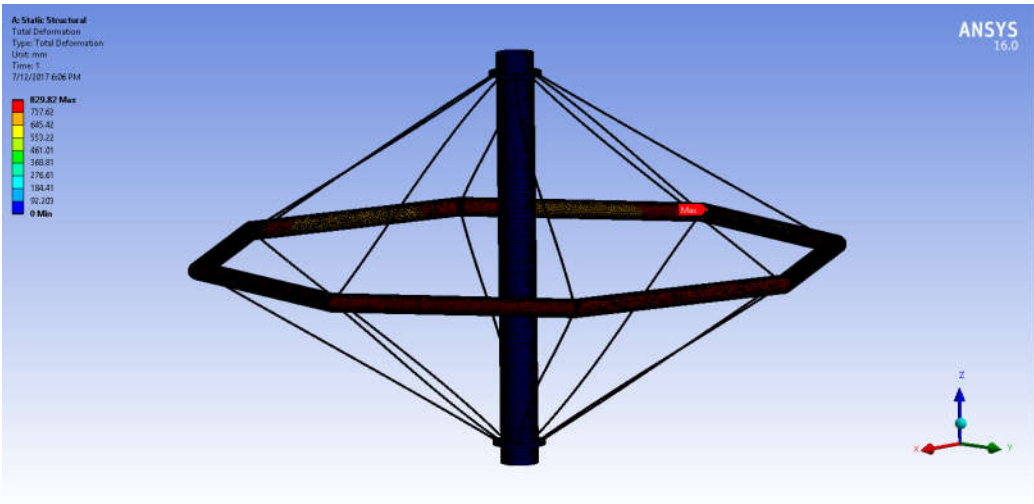


H(m)	T(s)
1.0-1.5	4.6

Tegangan: 67.00 MPa



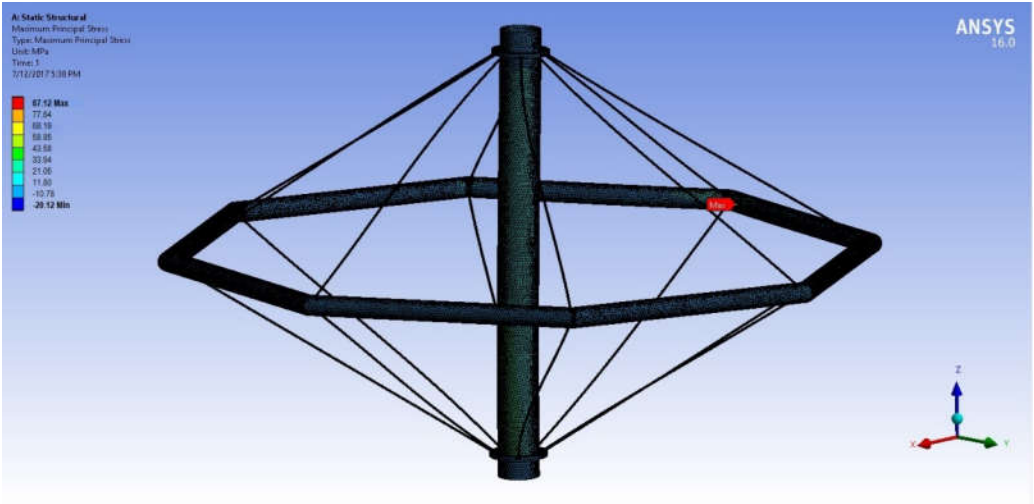
Deformasi: 829 mm



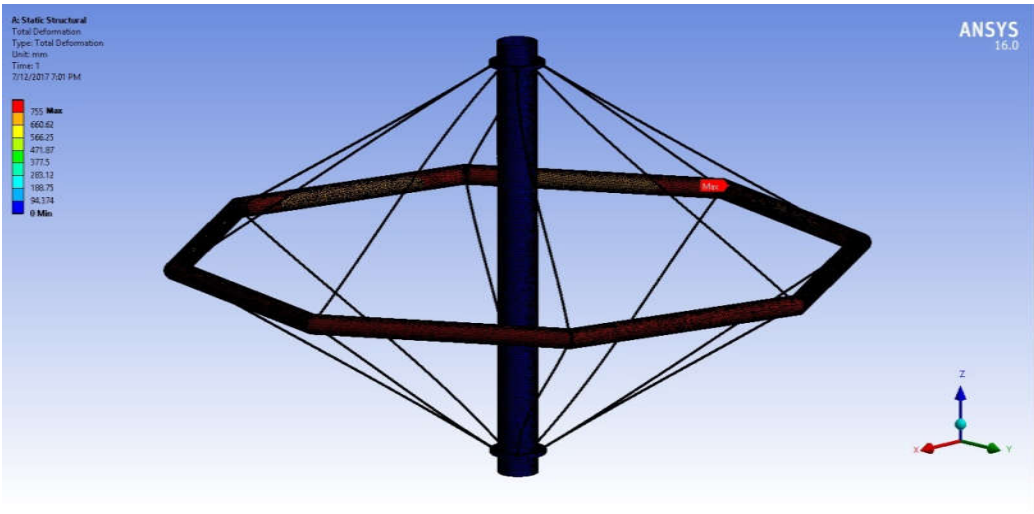


H(m)	T(s)
1.5-2.0	4.9

Tegangan: 87.12 MPa

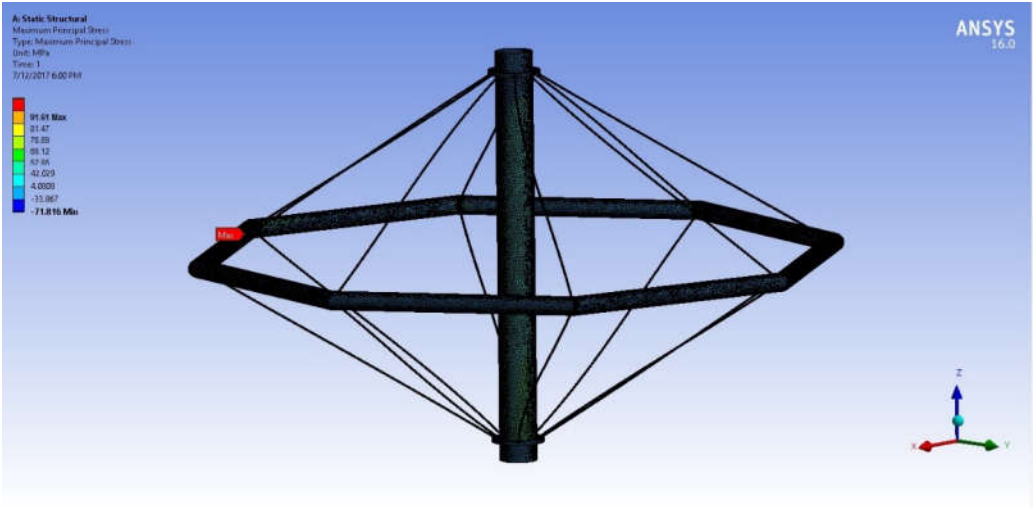


Deformasi: 755 mm

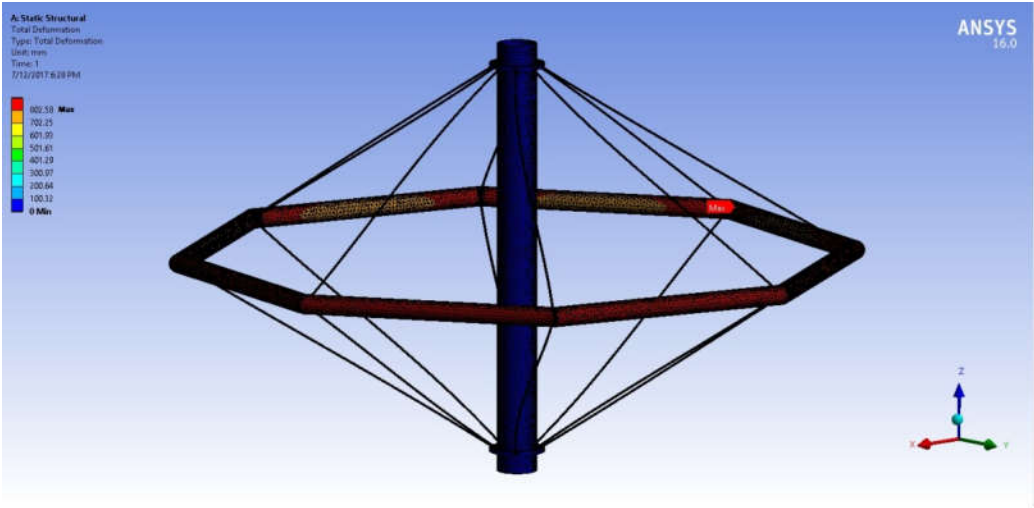


H(m)	T(s)
2.0-2.5	5.1

Tegangan: 91.61 MPa

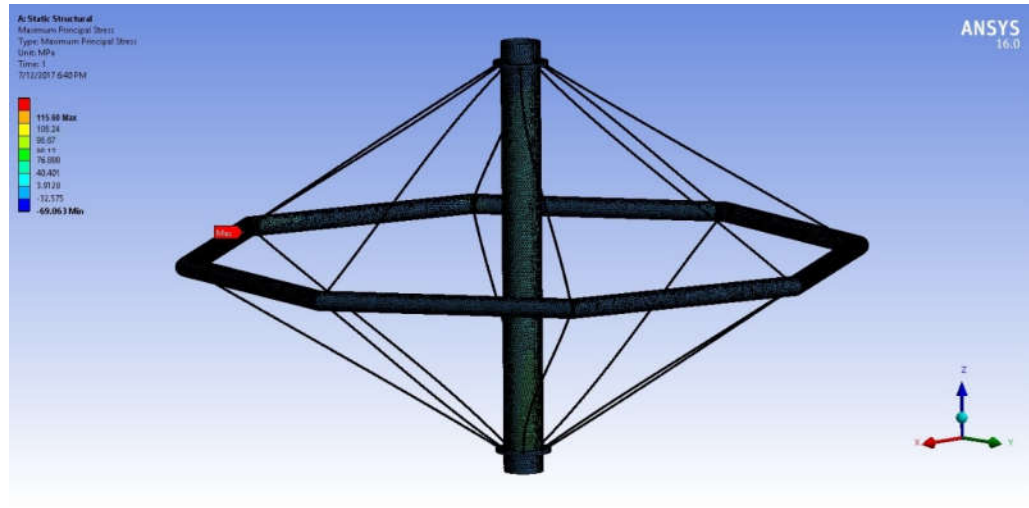


Deformasi: 802 mm

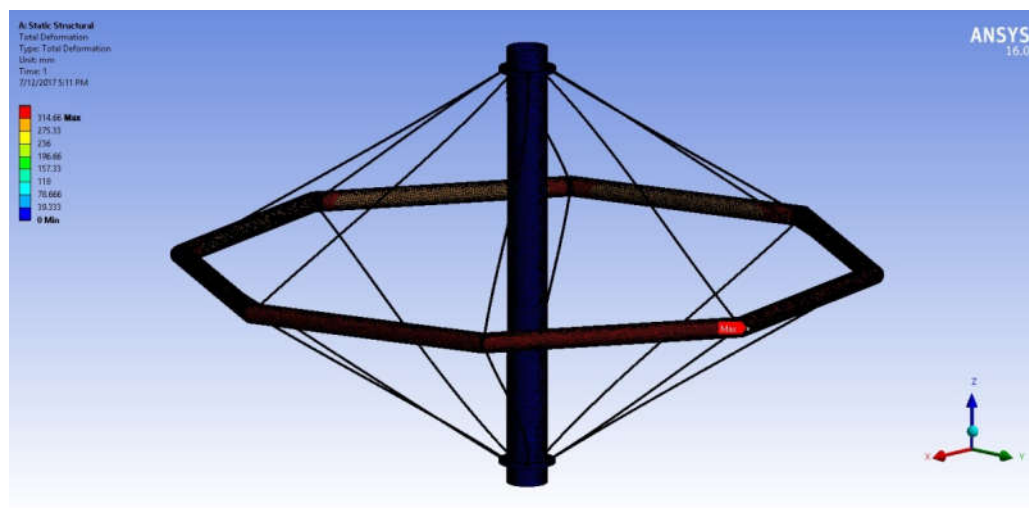


H(m)	T(s)
2.5-3.0	5.3

Tegangan: 115.60 Mpa

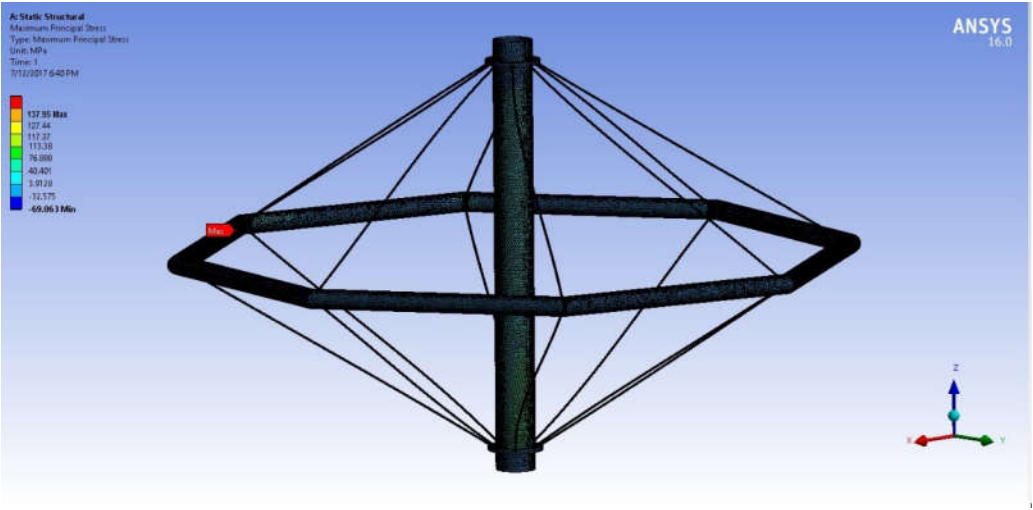


Deformasi: 314 mm

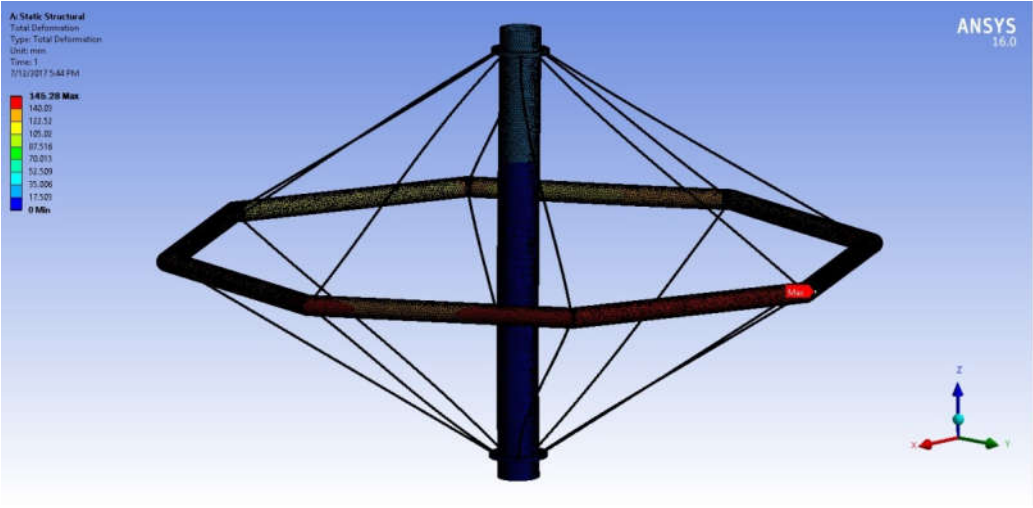


H(m)	T(s)
3.0-3.5	5.5

Tegangan: 137.95 MPa

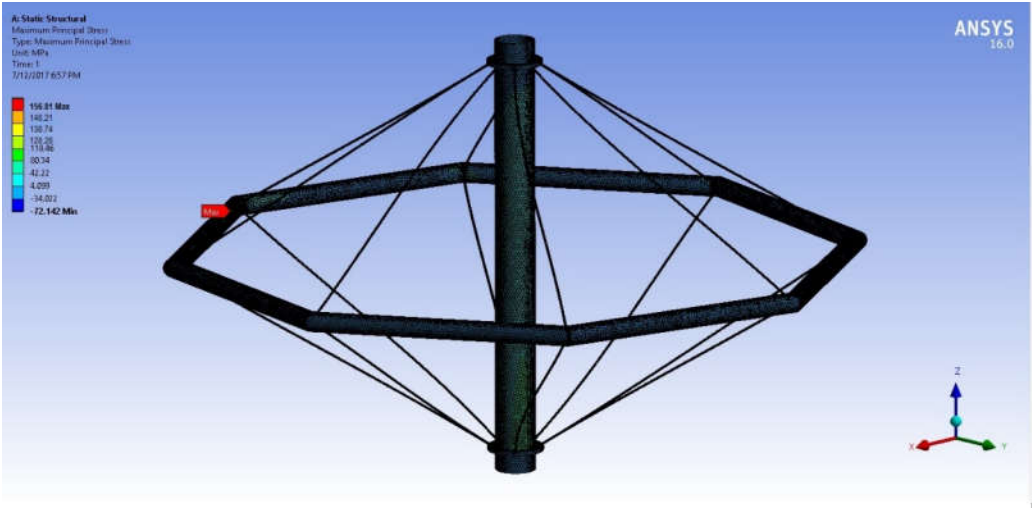


Deformasi: 145.28 mm

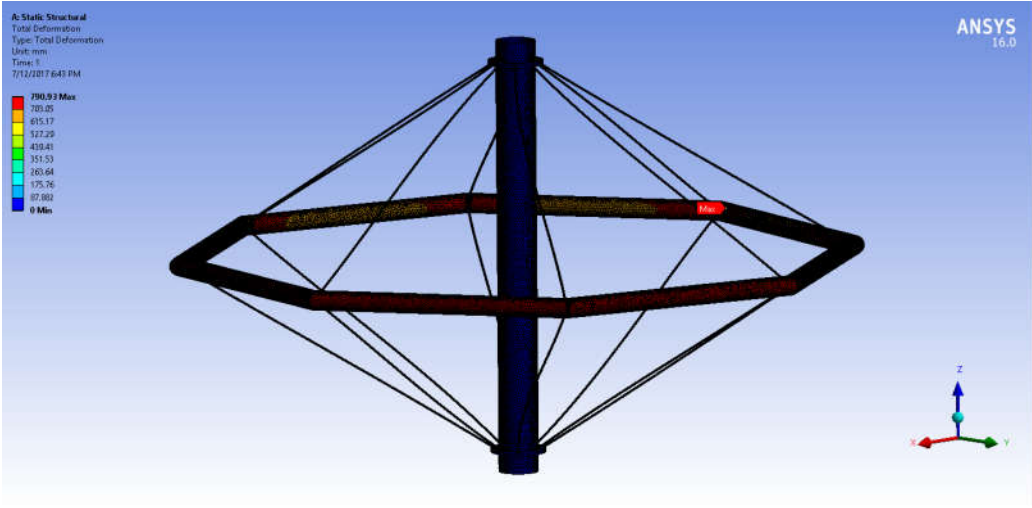


H(m)	T(s)
3.5-4.0	5.6

Tegangan: 156.81 MPa

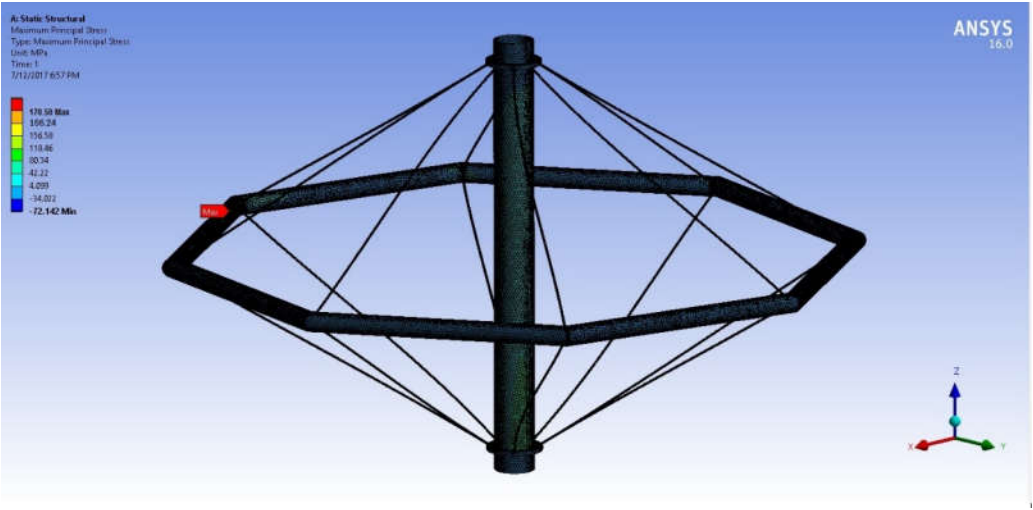


Deformasi: 790 mm

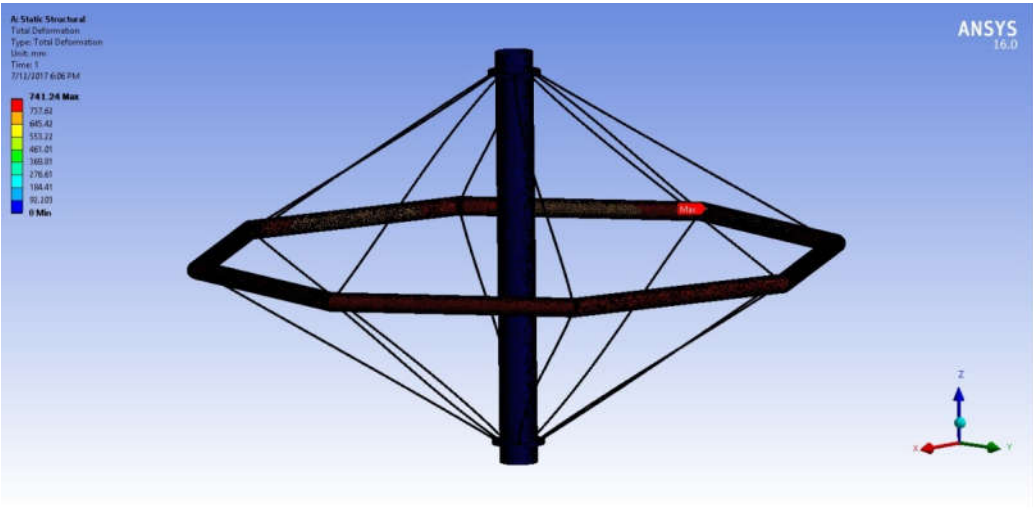


H(m)	T(s)
4.0-4.5	5.8

Tegangan: 170.50 MPa



Deformasi: 741 mm



## BIODATA PENULIS



Vilda Ariviana dilahirkan di kota Jember, pada tanggal 20 Maret 1995, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara pasangan H. Muhammad Suharto dan Hinayatur Rahmah. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri 1 Sukowono, SMP Negeri 1 Kalisat dan SMA Negeri 2 Bondowoso. Setelah itu, tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi dan kegiatan kemahasiswaan. Penulis aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan (BEM – FTK) sebagai Sekretaris Kabinet selama 2 periode kepengurusan. Penulis juga pernah bekerja praktek selama 2 bulan di perusahaan swasta PT. Bhumi Warih Hydrodynamics di Bandung. Selama masa studi Strata 1 yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dibidang struktur dan hidrodinamika lepas pantai sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik yang berhubungan dengan olah gerak bangunan apung dan analisis kekuatan struktur khususnya *offshore aquaculture*.

### Kontak Penulis

E-mail : [variviana@gmail.com](mailto:variviana@gmail.com)

Telepon : 082332988108